雜草學與雜草管理

楊純明　王慶裕　林俊義

主編

行政院農業委員會農業試驗所　出版

主編簡歷

楊純明，美國德州農工大學土壤暨作物科學系博士，現職行政院農業委員會農業試驗所農藝組研究員，擔任農藝組作物逆境研究室主持人，專長環境農藝、作物生理與物理、雜草管理、農業微氣象及光譜遙測。

王慶裕，國立中興大學農藝研究所博士，現職國立中興大學農藝系教授，擔任雜草與除草劑研究室主持人，專長作物生理、除草劑生理、雜草管理及除草劑環境監測。

林俊義，美國普渡大學植物及植物病理系博士，現職行政院農業委員會農業試驗所所長，專長植物病理、抗病育種、植物病原細菌、種苗生產及永續農業。

雜草學與雜草管理

獻給我們的父母和家人

農業委員會農業試驗所特刊編號第 113 號
ISBN 957-01-9718-8

雜草學與雜草管理

楊純明　王慶裕　林俊義

主編

行政院農業委員會農業試驗所　出版

中華民國九十三年十二月

國家圖書館出版品預行編目資料

雜草學與雜草管理/楊純明、王慶裕、林俊義，主編.
初版.— 臺中縣霧峰鄉: 行政院農業委員會農業試驗所，
2004[民 93]
257 面: 19×26 公分
含參考書目及索引
ISBN 957-01-9718-8
1.雜草
433.58 93023764

雜草學與雜草管理

發行人/ 林俊義
編 者/ 楊純明、王慶裕、林俊義
出版者/ 行政院農業委員會農業試驗所
地 址/ 臺中縣霧峰鄉 41301 萬豐村中正路 189 號
電 話/ 04-2330-2301，傳 真/04-2333-8162
網 址/ http://www.tari.gov.tw
印刷廠/ 學安文化事業有限公司
臺中市南區 402 仁和二街 78 號，電話: 04-2286-1600
出版年月/ 2004 年 12 月
版 次/ 初版
展售處/ 三民書局，臺北市重慶南路一段 62 號 02-2361-7511
國家書坊台視總店，台北市八德路三段 10 號 02-2578-1515 轉 643
五南文化廣場，臺中市中山路 2 號 04-2226-0330
新進圖書廣場，彰化市光復路 177 號 04-725-2792
青年書局，高雄市青年一路 141 號 07-332-4910
售 價/ 500 元
統一編號(GPN): 1009304759 (平裝)
ISBN: 957-01-9718-8

作者

王一雄
農業化學系教授
國立臺灣大學
電郵信箱: yswang@ntu.edu.tw

王淑敏
農藝學系
國立中興大學
電郵信箱: education@dragon.nchu.edu.tw

王慶裕
農藝學系教授
國立中興大學
電郵信箱: cywang@dragon.nchu.edu.tw

方麗萍
總經理
玉田地有限公司
電郵信箱: rdai@ms1.hinet.net

郭華仁
農藝學系教授
國立臺灣大學
電郵信箱: whjkuo@ntu.edu.tw

袁秋英
公害防治組助理研究員
行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所
電郵信箱: yci@tactri.gov.tw

徐玲明
公害防治組助理研究員
行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所
電郵信箱: hlm@tactri.gov.tw

陳世雄
農藝學系教授
國立中興大學
電郵信箱: sschen@dragon.nchu.edu.tw

陳家鐘
應用化學系教授
朝陽科技大學
電郵信箱: ccchen@mail.cyut.edu.tw

楊純明
農藝組研究員
行政院農業委員會農業試驗所
電郵信箱: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

蔡竹固
生物科技研究所教授
國立嘉義大學
電郵信箱: jgtsay@mail.ncyu.edu.tw

蔣永正
公害防治組副研究員
行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所
電郵信箱: cyj @tactri.gov.tw

蕭政弘
作物改良課助理研究員
行政院農業委員會臺中區農業改良場
電郵信箱: hsiaoch@tdais.gov.tw

謝清祥
農園生產系教授
國立屏東科技大學
電郵信箱: hsieh@mail.npust.edu.tw

序

臺灣地區雖然早在 1949 年起即引進化學農藥使用，但以殺蟲劑為主，而且是由當時臺灣省農業試驗所在農業復興委員會的協助下進口試用。一直到了 1963 年，才真正引入達有龍(diuron)、草脫淨(atrazine)及二-四地(2,4-D)等除草劑，使用於鳳梨園和甘蔗園之雜草防除，開啟了國內雜草科學的新紀元。縱然如此，若以此為分界嶺，現代化雜草科學在國內的發展亦僅及四十年。而且長期以來，雜草學在國內課堂上以學分教授，並無專門科系，因此雜草科學在國內學術領域中屬於弱勢學門。其後，隨著農業生產的大幅進展，雜草科學逐漸突顯出獨特的重要地位，惟國內的試驗研究仍多偏重於雜草管理部分，忽略了雜草的生態角色及雜草的多元利用。

近年來各界普遍意識到生物多樣性的重要與必要，開始注意雜草確實為地球生態系的關鍵一環，值得重視，也應該改變往昔的除草習慣。於是在做法及觀念上，由徹底殺除雜草轉為理性的防除雜草，再轉成預防性的管理雜草。肯定雜草是地球各種生態系中不可或缺的一份子，不可以予全面消滅，而蘊涵於雜草的豐富基因庫更是上天賜給人類的珍奇寶貝，應當加以保護、研究與利用。至此，雜草還原了其在生態與環境中應有的身份，雜草科學也更加蓬勃發展。

惟迄今國內尚無一本雜草專業書本(籍)，多仰賴教授先生準備的講義當作課堂教材，涵蓋範圍常因個人專長而有偏頗。本人乃因此鼓勵本所農藝組研究員楊純明博士和國立中興大學農藝學系教授王慶裕博士積極規劃專書的編撰工作，在國內各相關領域學者專家的支持與協助下，終於編撰完成「雜草學與雜草管理」一冊。由於籌畫及編印時間短促，難免考慮不周，校對不全。盼望識者不吝批評指正，以持續改進本書內容、改正錯誤，讓這本提供大學程度通識教育的參考書籍得以更臻完整。謹此為序，並申謝忱。

林俊義

行政院農業委員會農業試驗所所長

2004 **年** 12 **月**

前言

雜草科學在國內學術領域中屬於弱勢學門，在大專院校中亦無雜草科學系別，儘管如此，並非表示雜草科學不具重要性。事實上，雜草佔據植物界的絕大多數，也是生物多樣性舞臺的主要表演者，人們在大自然中舉目所見的幾乎皆是被歸類為雜草的植物。無論是陸生或水生生態系，動物或植物生態系，雜草均是不可或缺的一份子，連結生態系中的不同角色串成系統大家庭。更奇妙的，地球上繽紛豐富的基因庫竟然一大半存在於雜草之中，說是維繫人類長存於宇宙的關鍵所在並不為過。因為這些控制各種化學成分生成及生理生化機制表現的基因，正是人類早晚可能會使用與利用的寶藏，幫助解決疑難雜症的鎖鑰。近日已經發現，現階段困擾人類身體健康的癌症問題，有許多可應用於治療的化學物質，可由被當作雜草的植物體中萃取出來。本書於是給予雜草較佳的定義，基於生態學和農學的綜合觀點，舉凡其生態角色、生理機制、生活功能及生產價值尚未釐清而未能大量經濟性栽培的植物，即稱之為雜草。由此立場看雜草，控制雜草的正確做法應當是管理，而非僅是防除，更不是趕盡殺絕的錯誤想法。

此外，在農業生產系統當中，雜草是農作物必然相伴的朋友，在廣闊的田野彼此競爭資源、相互奪取生存空間，並因此淘汰無法拼鬥的弱者。於是乎，雜草管理成為農業生產過程必要採行的經營措施之一，以試圖將雜草族群降低至經濟臨界值以下，來獲得滿意的糧食生產。雖然有許多不同的方法可用於管理雜草，施用除草劑應是其中最為便捷的作業方式，二十世紀的綠色革命若沒有除草劑的參與，即不可能得到成功。然而，眾所周知，除草劑的使用也帶來了對環境污染與生態破壞的負面效應，引發了物種的滅絕危機，同時給人們造成相當程度的危害。尤有甚者，衍生出了除草劑抗性作物與抗性雜草的新議題，產業界一方面利用除草劑抗性作物從事糧食生產，另方面卻苦惱於除草劑抗性雜草(或除草劑抗性植物)的因應處理。此一兩難處境，從二十世紀延續至今，依然未能獲得適當的解決。

編者鑑於國內目前尚無雜草學專書，以至於對課堂上教授雜草科學的教師造成不便，並且不利於雜草學門的推廣及正確雜草管理做法的教育訓練。因此，乃邀集國內相關領域之學者專家共同編撰一本專業書籍，提供大學程度的學生閱讀，也可作為業界及其他有興趣人士之參考。本書依照參與學者專家之專長賦予不同章節編撰責任，計分為十五章。第一章『緒論』由行政院農業委員會農業試驗所農藝組研究員楊純明博士撰寫，介紹雜草科學涵蓋的範圍、雜草管理的理念及農業生產應當採行的正確雜草管理做法。第二章『雜草種子生態學』由國立臺灣大學農藝學系教授郭華仁博士撰寫，詳細說明雜草種子的繁殖、壽命、休眠與萌芽，也講述了種子

生態及土壤種子庫。第三章『耕地雜草與非耕地雜草』由國立屏東科技大學農園生產系教授謝清祥博士撰寫，提供讀者完整的雜草管理內容，也區分了耕地與非耕地的雜草管理做法。第四章『雜草管理─物理、化學、生物與綜合管理原理及做法』由國立嘉義大學生物科技研究所教授蔡竹固博士撰寫，進一步的解說雜草管理的務實做法，提醒管理人員在操作雜草管理措施時必須考量田間狀態並採行合適的管理方法。第五章『有機栽培體系之雜草管理』由國立中興大學農藝學系教授陳世雄博士和研究人員王淑敏小姐共同撰寫，特別針對有機栽培體系的雜草管理進行介紹，以中興大學農場實際執行成功的案例闡述各項管理做法。

第六章『除草劑之研發、登記及上市』由玉田地有限公司總經理方麗萍小姐撰寫，概要的敘述了世界農藥之研究與發展現況，並清楚的交待國內除草劑登記法規、程序與管理作業。第七章『除草劑之劑型配方』由朝陽科技大學應用化學系教授陳家鐘博士撰寫，有系統的說明除草劑的劑型與配方，新劑型的發展方向，以及界面活性劑與其他添加物的用途。第八章『除草劑施用對土壤環境之衝擊』由國立臺灣大學農業化學系教授王一雄博士撰寫，詳細解說除草劑與土壤環境之關係，讓讀者瞭解除草劑施用於土壤後的流向及消散途徑。第九章『除草劑作用模式與機制』由國立中興大學農藝學系教授王慶裕博士撰寫，清晰講解除草劑之作用模式及作用機制，對於讀者正確的使用除草劑有極大幫助。第十章『除草劑抗性雜草及其管理』由行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所公害防治組助理研究員袁秋英博士撰寫，由除草劑抗藥性的定義開始，完整的述明抗性雜草的發生緣由、抗性機制內涵及抗性雜草管理策略。第十一章『除草劑抗性作物及其利用』由行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所公害防治組副研究員蔣永正博士和助理研究員徐玲明小姐共同撰寫，巨細靡遺解說了除草劑抗性及抗性作物的產生，抗性作物的利用效益與利用風險，以及抗性作物的管理。

由第十二章起至第十五章止，分別介紹了水生雜草(第十二章)、蔬菜田雜草(第十三章)、草坪雜草(第十四章)及果園雜草(第十五章)之管理方法，使讀者瞭解不同生態系特有的雜草相及對應的雜草管理方法。第十二章『水生雜草之管理』由行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所公害防治組副研究員蔣永正博士撰寫，第十三章『蔬菜田之雜草管理』由行政院農業委員會臺中區農業改良場助理研究員蕭政弘先生撰寫，第十四章『草坪之雜草管理』由行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所公害防治組助理研究員徐玲明小姐撰寫，第十五章『果園之雜草管理』由行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所公害防治組助理研究員袁秋英博士撰寫。

本書為了提高可讀性，特別摘錄若干雜草學與雜草管理常見之名詞於附錄1『名辭解釋』，並增加了附錄2『除草劑之網路世界』、附錄3『草坪中雜草簡易檢索表

防除草坪雜草之除草劑』、附錄 4『防除草坪雜草之除草劑』、附錄 5『除草劑對草坪草種之影響』及附錄 6『常用除草劑及相關名詞』。最後，又將全部十五章之重要名詞做『名詞索引』，方便讀者快速取得關鍵名詞位置(頁碼)。

本書得以順利付梓，承蒙行政院農業委員會農業試驗所提供補助經費，謹特申由衷謝忱。編者對於參與撰寫之學者專家的支持、合作與辛勞，一併致上敬意與感謝。讀者若有發現本書任何疏誤，歡迎來函指正，俾修正於新版。

楊純明

行政院農業委員會農業試驗所農藝組

電郵信箱: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

王慶裕

國立中興大學農藝學系

電郵信箱: cywang@dragon.nchu.edu.tw

2004 年 12 月

目錄

作者 -- v

序 -- 林俊義 vii

前言 -- 楊純明、王慶裕 viii

目錄 -- xi

第一章 緒論 -- 楊純明 1

一、前言
二、雜草族群的生態
三、雜草倫理學
四、雜草科學的應用
五、雜草管理與農業生產
六、雜草管理的意義
七、合理的雜草管理
八、雜草綜合管理系統
九、結語
十、參考文獻

第二章 雜草種子生態學 -- 郭華仁 12

一、前言
二、種子的繁殖與壽命
(一)雜草種子的繁殖
(二)土中種子的壽命
三、土中種子庫
(一)種子庫的預估方法
(二)土中種子庫的組成與大小
(三)土中種子庫的型態
四、土中種子的休眠與萌芽
(一)種子休眠循環之測量
(二)土中種子發芽能力的變遷
(三)土中種子的萌芽

五、種子生態與雜草管理
(一)人為干擾地的草相管理
(二)自然植被的復建與管理
六、結語
七、參考文獻

第三章　耕地雜草與非耕地雜草-- 謝清祥　27
一、前言
二、耕作與雜草
(一)整地及中耕對雜草之影響
(二)耕犁方式
三、耕地雜草管理
(一)水稻
(二)旱作
四、非耕地雜草管理
五、非農耕地雜草管理
六、結語
七、參考文獻

第四章　雜草管理－物理、化學、生物與綜合管理原理及做法---- 蔡竹固　37
一、前言
二、雜草管理的概念
三、雜草的預防、防除與根除
四、傳統的雜草管理方法
(一)雜草預防
(二)雜草侵入後的管理
五、生態生理學的雜草管理方法
(一)光線
(二)環境逆境
(三)二氧化碳
六、控制營養的雜草管理方法
七、控制作物的雜草管理方法
(一)競爭性作物及品種

(二)輪作
(三)間作
(四)混作
(五)種植密度
八、促進雜草種子休眠及發芽
(一)耕作
(二)化學促進劑
九、生物性雜草管理方法
十、化學性雜草管理方法
(一)施用時期
(二)施用位置
十一、綜合性雜草管理方法
十二、結語
十三、參考文獻

第五章　有機栽培體系之雜草管理---------------------------陳世雄、王淑敏　54
一、前言
二、雜草對生態及水土保持之功能
三、雜草有機防除
(一)機械或物理性雜草防除
(二)生物性防除雜草
(三)耕作制度
四、結語
五、參考文獻

第六章　除草劑之研發、登記及上市----------------------------------方麗萍　74
一、前言
二、世界農藥之研究、發展、登記
(一)除草劑市場概要
(二)國內除草劑登記法規、程序、管理
四、結語
五、參考文獻

第七章　除草劑之劑型配方 -- 陳家鐘　84

一、前言

二、傳統劑型

(一)粒劑

(二)溶液

(三)乳劑

(四)可濕性粉劑

(五)水懸粉劑

三、新劑型

(一)普遍趨勢

(二)水基乳劑

(三)濃懸乳劑

(四)微乳劑

(五)控制釋放劑型

(六)水分散性粒劑

四、農藥使用的界面活性劑

(一)概述

(二)吸附作用與表面張力

(三)微胞之形成

(四)Krafft 溫度和混亂點

(五)濕潤和接觸角

(六)濕潤劑

(七)分散劑

(八)乳化劑

(九)溶解力

(十)藥效之增加

(十一)傳統的界面活性劑

(十二)近代界面活性劑的發展

五、農藥配方使用的其他添加物

(一)載體和稀釋劑

(二)溶劑

(三)抗沉劑

(四)水溶性聚合物

(五)防腐劑
(六)抗凍劑
(七)消泡劑
(八)抗結塊劑
六、結語
七、參考文獻

第八章　除草劑施用對土壤環境之衝擊 -------------------------------- **王一雄**　103
一、前言
二、除草劑與土壤環境
(一)除草劑化合物
(二)土壤環境特性
(三)除草劑與土壤環境
三、除草劑在土壤環境中之流向
(一)除草劑依化學結構分類
(二)除草劑流向
四、除草劑在土壤中之消散
(一)土壤呼吸作用
(二)除草劑化合物持久性
五、結語
六、參考文獻

第九章　除草劑作用模式與機制 --- **王慶裕**　117
一、前言
二、除草劑之作用模式
(一)除草劑之吸收
(二)除草劑之轉運
(三)除草劑之代謝
三、除草劑之作用機制
(一)抑制光合作用
(二)干擾微管

(三)抑制脂質合成
(四)抑制核酸與蛋白質合成
(五)抑制胺基酸合成
(六)生長素型除草劑
(七)其他作用機制
四、結語
五、參考文獻

第十章　除草劑抗性雜草及其管理------------------------------------- 袁秋英　143
一、前言
二、抗藥性之定義
三、抗性雜草之發生
(一)抗性雜草發生緣由
(二)易產生抗性之雜草及藥劑特質
四、抗性機制
(一)抗性機制概述
(二)常見之抗性機制
五、抗性雜草之管理策略及方法
(一)如何防止或延緩抗性雜草之發生
(二)抗性雜草之管理方法
六、結語
七、參考文獻

第十一章　除草劑抗性作物及其利用-----------------------蔣永正、徐玲明　166
一、前言
二、除草劑抗性與抗性作物之產生
(一)性狀選拔
(二)種間雜交
(三)基因轉殖
三、抗性作物之利用效益
(一)雜草管理
(二)環境保護

四、抗性作物利用之風險
(一)增加篩選壓力
(二)基因流動
(三)田間抗性基因之表現
(四)自生之除草劑抗性作物
五、抗性作物之管理
(一)技術性解決基因之流動
(二)生產操作
(三)除草劑抗性作物自生植株之預防及管理
六、結語
七、參考文獻

第十二章　水生雜草之管理 -- 蔣永正　179
一、前言
二、水生雜草之生長及分布
(一)水生雜草的分類
(二)水生雜草之生長特性
(三)水生雜草之分布
三、水生雜草的危害
(一)水生環境的改變
(二)水生生態系的衝擊
四、水生雜草的利用性
五、水生雜草的管理
(一)預防性防除(治)
(二)物理防除法
(三)耕作(栽培)防除(棲所改變)
(四)生物防治(除)法
(五)化學防除法
六、結語
七、參考文獻

第十三章　蔬菜田之雜草管理 -- 蕭政弘　193

一、前言
二、蔬菜田雜草防除之需求與時期
三、蔬菜田發生之主要雜草與特徵
四、蔬菜田雜草防除特色
(一)蔬菜種類繁多形態各異
(二)栽培方式複雜
(三)輪作頻繁
五、不同蔬菜田雜草防除要點
六、蔬菜田雜草防除之方法
(一)預防性防除
(二)人工除草
(三)機械中耕除草
(四)機械割草
(五)覆蓋
(六)栽培管理
(七)化學防治
七、臺灣蔬菜除草劑發展與應用
八、美國蔬菜田雜草化學防除
(一)甘藍類作物
(二)胡蘆科作物
(三)萵苣及小葉菜類
(四)茄果作物
(五)豌豆及豆類
(六)胡蘿蔔類
(七)蔥類作物
(八)蘆筍
(九)甜玉米
(十)馬鈴薯
九、結語
十、參考文獻

第十四章　草坪之雜草管理 -- **徐玲明**　211
一、前言
二、草坪雜草的生理生態
(一)雜草的分布特性
(二)雜草的繁殖及傳播
(三)雜草的分類
三、草坪雜草的種類
(一)禾草
(二)莎草
(三)闊葉草
四、雜草的危害
(一)競爭之危害
(二)對草坪及人之影響
五、草坪雜草的管理方法
(一)管理的目的與重點
(二)防除方法
(三)難以防除的雜草
六、結語
七、參考文獻

第十五章　果園之雜草管理 -- **袁秋英**　225
一、前言
二、果園雜草之角色
(一)負面影響
(二)生態意義
三、雜草種類及其生態特性
(一)雜草種類
(二）地被植物的管理對草相之影響
(三)臺灣近年果園草相之變遷
四、雜草管理之方法
(一)物理法
(二)化學法
(三)草生栽培

(四)綜合管理法
五、結語
六、參考文獻
附錄一 名詞解釋 ---------- 241
附錄二 除草劑之網路世界 ---------- 245
附錄三 草坪中雜草簡易檢索表 ---------- 247
附錄四 防除草坪雜草之除草劑 ---------- 251
附錄五 除草劑對草坪草種之影響 ---------- 252
附錄六 常用除草劑及相關名詞 ---------- 254
名詞索引 ---------- 255

第一章　緒論

楊純明
行政院農業委員會農業試驗所農藝組

一、前言

雜草科學(weed science)的發展受到作物疫病蟲科學(pest science)的影響頗大，尤其是有關雜草管理的部分，其與「有害生物綜合管理，或稱疫病蟲害綜合管理(integrated pest management, IPM)」的關聯更是密切。在規範雜草科學涵蓋的內容及範圍之前，首先需要澄清『雜草(weeds)』的定義，才能進一步探索與探究雜草科學的內涵。

對於雜草的定義，是因人因時因地而異的，有人將無利用價值的植物稱為雜草，有人則將妨礙主要作物(或母作物)生育的植物統稱為雜草。甚至有人狹義的將草本植物概視為雜草，或將田埂、路旁、屋鄰、田邊、荒地、溝壑、湖畔等著(叢)生的植物統歸為雜草。本章作者綜合生態學和農學的觀點提出的『雜草』定義是，舉凡其生態角色、生理機制、生活功能及生產價值尚未釐清而未能大量經濟性栽培的植物，即稱之為雜草。因此，在此定義下原被視為雜草的某一特定植物，可能由於內含某項可供人類利用的特殊化學成分，而立即受到萬眾矚目在短期間內集中研發且被大規模的栽培生產成為經濟作物。

從生態的立場，雜草只不過是尚未被人類有效利用的植物，與一般生活在大自然環境的植物並無不同，人們不應該將雜草視為異類除之而後快。雜草是地球上生物多樣性(biodiversity)的一環，當某雜草被納入農業生產體系時，其又將是農業生物多樣系統(agro-biodiversity system)中的一份子。同樣的從生態觀點，防除或管理雜草的化學藥劑應當稱為「除草劑」而非「殺草劑」，目的在於降低農耕地的雜草族群數量至低於「臨界經濟損失(threshold economic loss)」水準，或控制非被期待的植物於一可被接受的數量以下，絕對不是將所有雜草族群趕盡殺絕，破壞生物多樣的大自然。

由此可知，雜草之為『雜草』係一動態性的定義，其角色因人因時因地而異，可能隨著人類的認知、時間及所處的場所而調整對某一特定雜草的判斷和評價。所以，雜草科學在雜草防除(weed control)及雜草管理(weed management)二項科目之外，其他的內容及範圍無異於一般植物科學，值得深入研究探討。近年來，考量除草劑的氾濫使用和生物科技在除草劑抗性作物的

新興應用，衍生出了「雜草倫理學」，從農業生產、生態環境與社會安全等多元面向探討除草劑使用、雜草管理策略及雜草科學，期以導引雜草科學至正確的發展方向並貢獻於人類福祉。

二、雜草族群的生態

生態學是一門探討生物間交感、生物與環境關係、以及人類活動對其他生物生活與生存影響的專業學術領域。由於雜草是生物界的一分子，並影響農作物生育與糧食生產，對於農業生態系中生態組成及人類活動因子的研究，必須考量雜草的存在及其與環境、人類之間的相對關係。對於雜草生態學的研究和瞭解，提供了雜草科學家建構合適的雜草防除與雜草管理策略(strategy)，強調兼顧農作生產、環境保護與社會責任的雜草利用與管理(Radosevich 1998)。這些知識在探討雜草倫理學上亦是相當重要的關鍵，唯有澄清雜草的生態角色，才能建立正確且合適的雜草管理與雜草倫理的理念及系統。

一地之雜草族群通常都不是單一種原族群，而係多物種的雜草相，在隨時變遷的合適條件下，各種原可能逐一發展為主要的多數族群，成為當地的優勢雜草種類(prevailing weed species)。在不刻意防除或管理之下，這些年齡及遺傳組成不一的雜草族群極易擴張到造成作物經濟損失程度(Buhler *et al.* 1997a, O'Donovan 1996)。因此，如何依照各地不同雜草情況規劃適當的管理作業，對農民、生產者、或甚至雜草研究人員，都是一項艱鉅的挑戰，可能面對的包括防除藥劑與策略、各項策略的最佳實施時間、維持雜草族群於損害臨界值以下、以及控制雜草種子與蔓莖於最低水準等問題。異於雜草情況，有害昆蟲常於作物生育的某段期間同時且大量的出現，由單一物種獨佔並成災(Chiang 1978)。由於昆蟲的生命週期大都較短，只要採取的管理作業得宜，其防治成效較可預期，對作物造成的損害也較能評估。雜草的管理通常需要採取長期且綜合的手段，因為對於作物的損害評估可能包括雜草種類的交感效應、土壤中植物種原庫及環境變異等諸多潛在生態因素干擾，不容易在短期間內評斷出雜草管理的成效。

在生長季中，雜草的移動受限，常以群落方式散居(佈)於田間(Cardina *et al.* 1997, Mortensen *et al.* 1993)，僅少數雜草物種能夠在合適情況下佈滿全區造成優勢。雜草的傳播仰賴風、水、昆蟲、人類或其他自然運動作為媒介，然而在單一生長季中的傳播力仍屬有限(Cousens and Mortimer 1995)。農田中大多數的雜草族群是在作物的生長期間出現，且直接從土壤中萌發。相反的，某些有害昆蟲在非作物生長季節並不存在於當地生態系，而係在達到成災水準前才遷移至當地，隨即迅速在短期內發展成為災害。因此，族群的發展歷程可作為區別雜草與昆蟲族群特性的判識指標，也可應用於早期族群發展預測。由於雜草種子庫是當地土壤特有徵狀，由土壤種子庫的採樣分析資料，可以額外再提供吾人預測當地雜草族群的生態與動態(Buhler *et al.* 1997b, Swinton and King 1994, Wiles *et al.*

1996)。又由於雜草族群可能陸續在農作物生育期間不斷的冒出，不僅雜草的管理措施必須配合雜草種類與環境調整，雜草管理的成效因此需要在作季結束後才能完整的評估，各種雜草對作物生產的干擾也才能有所區隔。

作物產量受到雜草危害的實際損失，端視雜草密度、作物行株距、土壤肥力與水分含量、及作物鄰近雜草植株的距離等因素而定(Lindquist *et al*. 1996, 1999)。當雜草植株與作物同步萌芽時，其造成的危害高於較後萌芽的雜草，因為早期的資源競爭具有較大的壓迫潛力。多雜草物種地區造成的作物產量損失則較不易估算，特別在低族群密度下的各別影響程度(O'Donovan 1996)，很難加以切割、區隔各單一雜草族群的破壞力。尚且各種雜草族群的交感效應(interactions)不一，各有累積效應(cumulative effect)、非加成效應(non-additive effect)、或相互交感(mutual interactions)等作用，不容易做簡單的估測。病、蟲源感染造成的產量損失通常較單純，一般係由獨占或首要族群引起，出現的徵狀也較為一致(Pedigo 1995)。因此，吾人可以由疫病蟲引發的類似狀況推估另一田區可能造成的減產，評估危害程度，勿須再有對照處理比較之。相對的，僅僅量測一次雜草族群密度即做最後對產量影響的估測是不夠的，因為雜草族群可能在作物生育期間改變，造成經濟性減產的最小族群密度也可能隨時間異動。因此，多次量測是必要的，尤其在多雜草物種的族群，族群間的消長將改變減產的最小族群密度(Swanton *et al*. 1999)，也因此可知雜草生態對農作物生產的複雜影響。

三、雜草倫理學

許多科學領域雖然都刻意排除其與社會學(sociology)和倫理學(ethics)在理論及實務上的連帶關係，嘗試躲避道德面的束縛，然而卻無法做到完全的切割，因為科學的發展脫離不了人文層面。同樣的，雜草科學亦難以去除蘊涵的倫理價值觀及對社會應盡的責任(Zimdahl 1998)，當牽涉到生命與安全的考量，生態與環境的維護，就必須要兼顧社會倫理及道德責任。事實上無論從理論抑或應用而言，雜草科學均無以避開外在客觀及主觀的評價，雜草的生理與生態、雜草的種類與遺傳、雜草的管理與利用、乃至於除草劑的發展與應用及近代生物科技的引用等，俱是有形的實體，凡落實於應用就必然落入於世俗評價。學術界或一般社會大眾可以分從其對滿足人類糧食生產需求、促進糧食生產貢獻、有效提供安全食物改善人類生活、助益於農業永續的機能、提高糧食與纖維生產效率、以及增加農民收益等方面，逐一評估雜草科學的意涵、實用性與價值觀，論斷其對社會的各種正面與負面影響。

科學方法提供了追求事實與真理的介面及解謎的鎖鑰，科技的進步也成就了人類對真善美的信仰，然而無庸諱言的，科學的許多價值亦奠基於所謂機會主義。大多數雜草科學家及農業科學研究人員皆屬於機會主義者，認為總有一天他們的研究成果將對人類具有正

面貢獻，其用處可以增進大部分人們的福祉；或者，總希望有朝一日他們的研究結果受到社會的重視，帶來功成名就的實質收穫。如此想法，不但左右研究方向的取捨，也會因此影響到個人的價值觀。倘若雜草科學家未具有正確的倫理思想，研發成果未實施於正道上，或採用正當的方法操作，人類恐將未蒙其利先受其害。這是雜草倫理學衍生的起源，也是本文希望強調的重點，包括雜草科學在內，任何科學的發展與實用，必須受到社會的評價與規範，才不至於誤入歧途。

雜草科學或其他農業科學的倫理議題，未必僅限於批評或心智更新等嚴肅性話題，而應當是意志與理想的澄清及自我能力的提昇，體認科學家自身應該扮演的角色、抉擇適當的工作內容及具備正確的價值觀。Zimdahl (1998)更進一步的解釋，認為一位真正的雜草科學家應該致力於經驗與心得的相互交換，並努力於同儕間的深度切磋討論，激發出新的思緒、新的意境及新的點子，使得雜草科學的研究發展具有意義。在相同領域的個人若缺乏內在的倫理反射(internal ethical reflection)與價值判斷(value clarification)，並誠心喜悅接受外在的批判考驗(external distortions)與公共評論(public criticism)，將不能衍生出大家共同遵循的道德法則。

正如其他農業科學家或自然資源保留地規劃專家一樣，雜草科學家和同儕之間經常為了糧食與纖維生產的認知差異而陷於激烈爭辯，辯論的焦點通常集中於農作物生產與牧草地管理的適當工具及策略。其實比照其他農業科學，雜草科學家亦當不吝於經常性的彼此討論，歸納出專屬於雜草科學的倫理基石(ethical foundation)來，讓大家共同遵守與依循。舉例而言，過去幾十年間美洲(國)雜草科學會(Weed Science Society of America, WSSA)會員之間存在針對環境倫理議題方面的爭辯，諸如除草劑 2,4,5-T 是否適用於森林地、除草劑 atrazine 是否應禁用於農業雜草管理以維護人類健康與水源安全等，迴響及影響均十分深遠。

四、雜草科學的應用

雜草科學早期的發展與應用重點，偏重於除草劑的研發及雜草的防除，期以助益於農業生產。後來又在納入疫病蟲害的綜合管理做法下，積極朝向建立與改進雜草管理系統。但是在過去二、三十年間，生物科技擁有相當驚人的發展，無論在動物或植物領域，均有十分豐碩的成果。人類透過生物科技大幅改進了生產質量與效率，革新了生產技術與限制，也顯著縮短了作物育種的時程與精力消耗，然而卻也遷引出“生物科技的利弊”及“人類是否在扮演上帝”的問題(Comstock 1998)。

事實上雜草科學不落人後的亦納入應用生物科技於產品的研發，結合除草劑和種子生產的大型生物科技公司陸續推出「除草劑抗性作物(herbicide-resistant crops)」產品，如除草劑抗性玉米、大豆、油菜、棉花等(劉 2002)，使得除草劑能夠更方便大量施用，也適度的控制農場經營管理的成本。另一方面，長期大量使用除草劑帶

來的生存競爭壓力，卻可能在物競天擇之下誕生「除草劑抗性植物/雜草」，近三十年來幾乎每年皆有抗性植物被發現。當然，對除草劑的抗性也可能是與生俱來的，存在於植物之間，能夠忍受遠高於感性植物致死劑量的耐受性而保留、遺傳。然而，除草劑抗性作物的成功轉殖，是否會引起抗性基因飄移(drift)傳遞於植物之間(尤其是近緣植物)，製造更多的抗性植物或抗性雜草，乃是另一項生物科技利弊的爭論議題，近年來更是經常被討論的雜草科學倫理主題之一。

除此之外，人為轉殖產生的除草劑抗性作物，由於轉入的基因或基因片段可能造成深遠影響，帶來若干安全疑慮或不可測的潛在結果。在人們不信賴的假設前題下，這些抗性作物的衍生產品，受到部分人士抵制，尤其在歐洲許多國家地區這些產品的安全性普受質疑。對於雜草人(weed people)而言，抗性植物及抗性雜草可能是使用除草劑之後的產物，抗性作物則是生物科技公司的生財工具，應用雜草科學進退取捨之間，當以人類的福祉為優先抉擇。

五、雜草管理與農業生產

操作農業可能蘊涵五種不同目的:(1)創造生產的利潤、(2)追求永續的生產、(3)致力於環保安全的生產、(4)滿足人類的糧食需求、及(5)相容於公正的社會秩序。農業科學家在評估這些目的潛在的衝突時，常由不同的價值觀進行交叉辨論作出評斷，亦即站在不同的價值觀點上比較正負優劣。最後由永續農業(sustainable agriculture)的經營與發展恆定目標的結論中，擬定出有利於農業永續的價值標準，並進而謀求各種相對應的改進(善)對策，使得各種目的終歸於一。簡單的說，儘管各人操作農業起初可能懷有不同的目的，表面上看來或許相容或許衝突，但是在達到讓農業得以永續經營與發展(sustaining management and development)的目標上應當是合一的。基於此一共同的恆定目標，各人在做法上就應該自行調整，謀求一致的原則全心全力的往此標竿前進。

雜草科學亦復如此，當詳細分析雜草科學的內涵時，發現各有其正面與負面的機能。最尖銳及最終的問題可能是，如何改進現行雜草管理方法，妥善使用除草劑，使之能相容於更偏向永續與環保的農業，讓農業經營持續綿澤後代子孫。果若大家都能體認雜草科學的終極目的在於農業的永續，那麼各人均能放棄已見，共同朝向相同的前景努力。這也是雜草倫理學衍生的意義與推廣的精要，無論是研發業界、農業生產者、或是從事雜草管理人員，均使之奠基於相同的理念，那麼雜草管理與農業生產即是以永續農業為目標相容的一體兩面。

六、雜草管理的意義

延續以上觀點，現代化的雜草管理策略已在維持農作物生產力上扮演相當重要的角色。對許多農作物而言，噴施除草劑是其中最具成效的一環，明顯降低了產量的損失，且助益於低耕犛作業系統(reduced tillage systems)的推

廣。儘管如此，雜草干擾、土壤侵蝕塌解、及環保疑慮仍然持續存在於現行耕作系統，而除草劑的使用也將繼續遷引雜草族群的演化方向。雜草科學應當更致力於改進綜合管理系統，減輕環境的惡化傾向，並分散同向的物競天擇壓力，促使雜草族群維持多向的演化而保持多樣化(Buhler *et al.* 2000)。吾人可以利用疫病蟲害綜合管理 (Stern *et al.* 1959, Smith and van den Bosch 1967)的架構，來規劃與發展因應各種雜草情境的「雜草綜合管理系統(integrated weed management systems)」，雖然疫病蟲害綜合管理的基本原則已為人熟知且成功的實用於許多農業有害生物，可惜卻尚未充分應用於雜草管理上。雜草科學家未來應當致力於區隔疫病蟲害綜合管理中適用於雜草管理的原則，依照雜草族群特性加以發展與試驗，建立專屬於雜草管理的原理、做法與策略，這同時也是雜草綜合管理策略之理論與實務挑戰。

雜草加諸於農業生產的框架是普遍存在及循環不斷的威脅，換言之，在田間自然狀況下，雜草族群周而復始的普遍發生於農田各角落。近幾年間美國花費於雜草管理的金額，每一年估計均超過 150 億美金(Bridges 1994)，開發中國家則可能不只於此數(Akobunudu 1991)。基於消耗費用、環境影響及現行管理措施之長期功效等考量，雜草綜合管理仍需要進一步加強(Gressel 1992, Wyse 1992)。雖然藉由耕犛及除草劑施用，吾人能夠容易而便捷的控制田間雜草並改進生產效率，卻也因此伴隨對環境的污染、引起人類健康問題及加速土壤塌蝕。此外，如前述在長期施用除草劑狀況下，許多雜草演化出除草劑的抗性基因(Heap 1999)，對特定除草劑不再有敏感反應，給農業生產製造新的問題。

雜草在自然環境中，隨著環境的變異與壓力不斷的演化，除草劑抗性僅是演化途徑的其中一項(Heap 1999)，諸如栽培管理措施亦會導引雜草的演化方向(Buhler *et al.* 1997a, Holt 1994)。由於雜草族群具有龐大的外觀形態改變能力及豐富的基因庫，在經歷漫長的環境變遷過程中，能夠隨著環境條件而演化出適應的變異，衍生各種類型的雜草。舉例而言，稗草(*Echinochloa crus-galli* L.)即是在人工除草的情況下保留、延續及演化，因其外觀形態在生育初期類似於水稻(*Oryza sativa* L.)，未如其他雜草被人為淘汰(Gould 1991)。據此，雜草綜合管理內容視雜草種類及環境狀況而異，也隨著當地特有條件而有所差別，惟以下列二項為其共通點: (1)採用多層次控制策略，即選用不只一種方法或不只一次進行防除措施。(2)將雜草生物學知識融入管理系統，以維護生態環境並提高經濟效益。因此，研發雜草綜合管理策略應當容納各種可能的途徑，不必侷限於除草劑的使用及耕犛操作，才能針對特定雜草情境發展出最佳化的管理策略(Liebman and Gallandt 1997, Navas 1991)。一套最佳化的雜草綜合管理系統，應該可以提供使用者多元的選項，加諸於雜草族群不同的演化壓力，以及提高資源的有效利用。

七、合理的雜草管理

雜草管理並不等同於雜草防除，雜草防除係指為了降低現存雜草族群所採取的行動或措施，雜草管理則更進一步考量如何防制雜草繁殖，減少農作物栽植後的雜草萌芽，以及減輕雜草對作物的競爭效應(Buhler 1996, Zimdahl 1991)。換言之，雜草管理強調於綜合相關的知識與技術，以根本解決雜草併存所帶來的諸種負面問題，而不僅僅是對付雜草出現後產生的栽培干擾。雜草管理的最終目的在於執行最適當的預防性策略與措施，並追求最佳化的作物生產和經濟收益。所以，合理的雜草管理融合專業知識、管理技巧與監測管考，而且有效運用適當的防除作業，特別應當加入雜草生物學與生態學，才能充分瞭解造成當地雜草相變化的因果。如此具有宏觀視野與理念的雜草管理系統，才能真正維繫長期而成功的雜草管理成果，而非僅是不斷地處理一再發生的不同雜草問題(Maxwell 1999)。

近年來雜草管理已邁向較為合理的綜合管理型式，這些因應不同雜草特性研發的雜草綜合管理，其理論與觀念係延伸自植物蟲害及病害的疫病蟲害綜合管理架構(Benbrook 1996, Cardina *et al.* 1999)。依照 Pedigo(1995)的定義，疫病蟲害綜合管理係基於對病蟲族群生物學及其發生流行造成作物產量危害與經濟損失的瞭解，而採行的綜合式有效對應途徑。因此，疫病蟲害綜合管理具有以下五項基本觀念: (1)實施的場所長期存在具有抗性的潛在有害病蟲源，(2)以當地生態系作為管理單位，(3)融入最大可能的天然控制動因(natural control agents)，(4)任一管控措施可能造成未預期或未期待的結果，以及(5)連結跨領域的專業方法及系統(Bottrell 1979)。操作疫病蟲害綜合管理指導原則有下列六項: (1)分析特定病源或蟲源發展成為致災的潛力，並建立其造成經濟損失的平損臨界值；(2)研發降低重要病蟲平衡密度(equilibrium densities)的方法；(3)提高作物受到病蟲危害達經濟損失耐受力的栽培系統；(4)增加作物栽培系統的多樣化；(5)截短造成病蟲損害之現存病蟲源族群數量；及(6)採行多樣化的控制措施(Bottrell 1979, Pedigo 1995)。對於具有流行性感染能力的蟲源及病源，則甚至需要加上地區病蟲源與天氣的追蹤監測、複雜的預測模組、以及遺傳、栽培、生物性與生物科技等的組合資訊(National Research Council 1996)。雜草的綜合管理，可以仿照這些理論架構，再因應不同雜草特性來研發對稱與對應的合理管理方法，如以下之敘述。

八、雜草綜合管理系統

由於起步較晚，目前雜草綜合管理系統的建立尚未臻完整(Hall 1995)，有許多理論、經驗及方法係套用自疫病蟲害綜合管理(Benbrook *et al.* 1996, Cardina *et al.* 1999)，故不適用的部分必須經過釐清雜草與作物之生物性交感效應後才能進一步修正或改進。”病蟲源與作物”和”雜草與作物”之生態關係並不相同，生物性關聯亦非一致，直接引用疫病蟲害綜合管理原則於雜草綜合管理未必全然合適，且可能不容易解釋原則的利用(Cardina *et al.* 1999)。正確

的做法是將各項原則逐一驗證，檢視是否符合雜草族群的動態變化，評估其應用於雜草管理時的長期成效及對當地生態系的衝擊。當綜合多種策略與措施於雜草綜合管理時，除了雜草本身的相對反應之外，也需要考量人類活動的干擾，澄清究竟係緩和抑或強化雜草管理的效果後才能取捨(Cardina *et al.* 1999, Elmore 1996)。

從營養層次的交感立場，雜草多半藉由與作物相互競爭自然資源如水分、光照、二氧化碳、礦物元素等，或爭奪、劫掠這些資源而影響作物的生長與產量，病、蟲源則常直接以作物為食物予以直接侵害。因此，雜草族群存在造成的作物生產損失係受制於自然資源的短缺，疫病蟲的危害則在於加諸作物本身的侵犯或破壞，嚴重時甚至危及作物的生命(Norris 1999)。由於直接因素係自然資源的可利用量，一般只要管理資源的動態分佈即可適當控制雜草，對於疫病蟲的掌握則必須針對病、蟲源本身進行防治或以輪作方式移(消)除作為食物的寄主作物(Gould 1991)。例如，許多昆蟲在失去特定寄主作物後，族群即大量減少，剩餘的亦可能因此遷移他處尋找食源，或暫時寄生於鄰近的其他植物。輪作方式對雜草的作用就未必如此直接、有效，表面上也許改變了雜草相、族群數量，但不易真正滅絕或排除雜草的存在，只是暫時解除其對受害作物的威脅而已。存在於土壤種子庫的雜草種子，可能隨著環境條件的改變，族群再次興起壓迫該地的農作物。

其次，雜草族群的消長和作物一樣，可能隨著可利用自然資源的變化而異，但是長生命週期及低移動特性使其一旦建立了族群即不易去除(Harper 1977)。蟲源的族群大小及行為表現，卻隨著寄主或周遭作物栽植密度與排列所改變的資源濃度而起伏不定，也因生育期及葉片品質有所不同(Root 1973)，可以在短期間內有較大的變化，主要差別在於被視為食物的作物質量優劣多寡。尚且昆蟲族群通常較為脆弱，易因同時遷移至同一處或某狀況產生大量繁殖、存活，也可能因為極端天氣、季節變化、短生命週期或災難狀況而一夕間大幅降低數量(Chiang 1978)。於是，儘管已達實質危害數量，昆蟲族群可以在短期間內下降至成災的臨界值以下，使得作物再度恢復生機。雜草則不然，當雜草族群擴張至危害程度時，作物已然受到負面影響。

多數雜草能夠長期存活於一地，使土壤中併存著許多世代，形成龐大的雜草種子庫或基因庫(Cavers 1995)，具有調節雜草的寬廣緩衝容量。各個雜草種子能夠持續存活於土壤的期間不一，視種子內容物充實程度而定，從一年至四十年不等變異範圍頗大(Murdock and Ellis 1992, Wilson 1988)。相對地，大多數昆蟲的壽命並不長，自數天至一年不等，甚少有跨年重疊的不等蟲源世代同時存在(Price 1997)。泰半昆蟲族群在作季之初數量極低甚或不存在，當條件轉趨有利時，族群大量產生或遷移至當地，很快即發展至成災臨界值。雜草族群受限於移動力及土壤種子庫，一年生雜草通常於作季初期即快速繁衍至最大族群數量。部分躲過防除措施存活的

雜草植株，其生產的種子落入土壤種子庫中，改變種子庫族群比例及隔年出現的物種相。昆蟲則反之，在作物生長季中可能不斷的有不同種類的昆蟲移入同一地區，或同一物種移居廣大的地區，致使針對某特定爆發流行昆蟲族群的管理措施成效降低(Myers *et al.* 1998)。這些列舉在雜草與疫病蟲之間的差異點，反應了作物與疫病蟲及雜草在先天生物性關係及生態關聯上的歧異，導致雜草與昆蟲族群動態上的顯著差異，當然在研擬綜合管理時即需對採用的原則做適度修正。

在研發及實施雜草綜合管理的過程，需要先進的方法融入相關知識與技術，同時也需要驗證及改進(Hall 1995, Travis and Latin 1991)。無論係防除工具、管理策略及操作措施，在資料分析、知識運用與理論驗證上都應該提升至地區生態層次，考量管理系統內如作物族群、雜草與疫病蟲族群、長期經營的各項操作及成本效益等因子的交感。在周延的系統框架下經過不斷的檢定與修改，加上地區特定環境參數，作物與雜草的反應和實施結果，才能獲得最佳化的雜草綜合管理系統。總的來說，雜草綜合管理係依照當地特定的雜草情況，考量環境與生態特性，採行必要的物理性、化學性、生物性或其他合適防除方法來管理雜草族群，以獲取最佳的雜草管理效果。惟雜草綜合管理是否落實並得到成功，最終鎖鑰仍然掌握在農民或雜草管理者手中，採用符合理論邏輯正確且有效的操作工具則是其中關鍵所在。

國內行政院農委會花蓮區農業改良場曾針對蘭陽地區具有地方特色的經濟作物—金柑進行疫病蟲草害的綜合管理，同時考量病、蟲、草的潛在危害問題，經幾年努力而發展出一套綜合管理作業技術。在這套體系中，包括罹病株的剷除燒毀、調整嫁接於砧木的高度降低病原菌感染機率、噴施化學藥劑防治病蟲害、整枝剪葉維持理想樹型、機械除草與表土覆蓋、控制肥料施用及暢通排水系統等經營管理措施，在維持金柑植株生長、提高樹株優勢、減少病蟲害發生及防除雜草叢生等多方面獲得明顯效果。

九、結語

有鑑於雜草綜合管理仍屬於起步階段，未來尚須持續不斷的研發投資，透過產業界、推廣人員和雜草科學家的通力合作使其更臻完善。欲獲得民眾和政府支持，雜草管理必須加上環保功能，並且更加重視社區意識和經濟效益(Hall 1995)。融入疫病蟲害綜合管理做法的雜草綜合管理，其最終目標應該超越單純保障作物生產的限制，而加入諸如土壤保護、水土品質維持及生物多樣性維護等多重目的。未來在規劃特定農業地區的雜草管理系統時，宜跳脫以增產為主的固有農業經營思維，採取動態雜草族群變遷觀念及生態意識，提供更多雜草管理的選項配合情境的改變，而不要在收穫時才做補救式的檢討無濟於事。在新的農耕體系裡，惟有能夠產生更高經營效益及永續農業價值的雜草管理系統，才真正受到生產者的青睞與肯定。

此外，雜草只不過是地球生態系中尚未被人類有效利用的植物，同樣是地球村的一份子，人們不應該將雜草視為除之後快的寇讎，而是值得開發的生物多樣性寶庫。國內目前對於雜草的研究稍嫌不足，而且偏重於管理層次，有關雜草的生態維護機制、生物多樣性功能、有用化學組成分應用及除草劑抗性社會安全等議題均欠缺探討，期盼國人多加重視，將之導引至正確方向助益生產、生活、生態福祉。

十、參考文獻

劉明宗。2002。除草劑抗性的發展: 抗性雜草和抗性作物。中華民國雜草學會會刊 23(1):53-64。

Aiken, W. 1998. The goals of agriculture and weed science. Weed Sci. 46:640-641.

Benbrook, C.M. 1996. Pest Management at the Crossroads. Consumers Union, Yonkers, NY. 272pp.

Benbrook, C.M., P. Hoppin and M. Liebman. 1996. New tools to measure reliance and use of herbicides and the adoption of integrated weed management: Weed Sci. Soc. Amer. Abstr. 36:94–95.

Bottrell, D.R. ed. 1979. Integrated pest management: definition, features, and scope. p.19–26. *In:* Council on Environmental Quality. Integrated Pest Management. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

Buhler, D.D., R.G. Hartzler and F. Forcella. 1997 a. Implications of weed seed bank dynamics to weed management. Weed Sci. 45:329–336.

Buhler, D.D., R.G. Hartzler, F. Forcella and J.L. Gunsolus. 1997b. Relative Emergence of Weeds of Corn and Soybean. SA-11. Iowa State University Extension Pub., Ames, IA. 4pp.

Buhler, D.D., M. Liebman and J.J. Obrycki. 2000. Theoretical and practical challenges to an IPM approach to weed management. Weed Sci. 48:274–280.

Cardina, J., G.A. Johnson and D.H. Sparrow. 1997. The nature and consequence of weed spatial distribution. Weed Sci. 45:364–373.

Cardina, J., T.M. Webster, C.P. Herms and E.E. Regnier. 1999. Development of weed IPM: levels of integration for weed management: J. Crop Prod. 2:239–267.

Comstock, G. 1998. Is it unnatural to genetically engineer plants? Weed Sci. 46:647–651.

Cavers, P.B. 1995. Seed banks: memory in soil: Can. J. Soil Sci. 75:11–13.

Chiang, H.C. 1978. Insects and Their Environment. p.151–188. *In:* Fundamentals of Applied Entomology. R.E. Pfadt, ed. MacMillan, New York.

Cousens, R. and M. Mortimer. 1995. The Dynamics of Geographic Range Expansion. p.21–54. *In:* Dynamics of Weed Populations. Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain.

Elmore, C.L. 1996. A reintroduction to integrated weed management: Weed Sci. 44:409–412.

Gould, F. 1991. The evolutionary potential of crop pests: Amer. Sci. 79:496–507.

Hall, R. 1995. Challenges and Prospects of Integrated Pest Management. p.1–19. *In:* Novel Approaches to Integrated Pest Management. R. Reuventi, ed. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

Harper, J.L. 1977. The Influence of Density on Form and Reproduction. p.195–235. *In:* Population Biology of Plants. Academic Press, San Diego, CA.

Lindquist, J.L., D.A. Mortensen, S.A. Clay, R. Schmenk, J.J. Kells, K. Howatt and P. Westra. 1996. Stability of corn (*Zea mays*)–velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) interference relationships. Weed Sci. 44:309–313.

Lindquist, J.L., D.A. Mortensen and P. Westra. 1999. Stability of corn (*Zea mays*)–foxtail (*Setaria*) interference relationships. Weed Sci. 47:195–200.

Mortensen, D.A., G.A. Johnson and L.J. Young. 1993. Weed distribution in agricultural fields. p.113–123. *In:* Soil Specific Crop Management. P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson, eds. Amer. Soc. Agron. Madison, WI.

Murdock, A.J. and R.H. Ellis. 1992. Longevity, viability, and dormancy. p.193–229. *In:* Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities. M. Fenner, ed. CAB International, Wallingford, Oxford, Great Britain.

Myers, J.H., A. Savoie and E Van Randen. 1998. Eradication and pest management: Annu. Rev. Entomol. 43:471–491.

National Research Council. 1996. Ecologically Based Pest Management: New Solutions for a New Century. National Academy Board on Agriculture. National Academy Press, Washington, DC. 320pp.

Norris, R.F. 1999. Ecological implications of using thresholds for weed management. J. Crop Prod. 2:31–58.

O'Donovan, J.T. 1996. Weed economic thresholds: useful agronomic tool or pipe dream? Phytoprotection 77:13–28.

Pedigo, L.P. 1995. Closing the gap between IPM theory and practice: J. Agric. Entomol. 12:171–181.

Price, P.W. 1997. Chapter 14: Life histories and reproductive strategies. p.341–374. *In:* Insect Ecology. 3rd ed. J. Wiley, New York.

Radosevich, S. 1998. Weed ecology and ethics. Weed Sci. 46:642–646.

Root, R.B. 1973. Organization of a plant–arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). Ecol. Monographs. 43:95–124.

Swinton, S.M. and R.P. King. 1994. A bioeconomic model for weed management in corn and soybean: Agric. Systems. 44:313–335.

Swanton, C.J., S. Weaver, P. Cowan, R. Van Acker, W. Deen and A. Shreshta. 1999. Weed thresholds: theory and applicability. J. Crop Prod. 2:9–29.

Travis, J.L. and R.X. Latin. 1991. Development, implementation, and adoption of expert systems in plant pathology. Annu. Rev. Phytopathol. 29:343–360.

Wiles, L.J., R.P. King, E.E. Schweizer, D.W. Lybecker and S.M. Swinton. 1996. GWM: general weed management model. Agric. Systems 50:355–376.

Wilson, R.G. 1988. Biology of weed seeds in the soil. p.25–39. *In:* Weed Management in Agroecosystems: Ecological Approaches. M.A. Altieri and M.Liebman, eds. CRC Press, Boca Raton, FL.

Zimdahl, R.L. 1998. Ethics in weed science. Weed Sci. 46:636–639.

第二章　雜草種子生態學

郭華仁
國立臺灣大學農藝學系

一、前言

雜草管理方法的妥善研擬，應事先研究草類生態。種子是植物主要的繁殖器官，雖然有時進行無性繁殖，有時則兩者兼備。就有性繁殖而言，種子是雜草個體生命循環的起點，也是終點。瞭解種子的生態特性乃是研擬管理雜草方法的第一步。

雜草開花形成種子之後，種子會散播而遺留於土壤，因農地的耕犁或動物的攜帶而進入土中。種子的生命循環包括種子的形成、散播、入土、以及在土中發芽而形成新個體。土壤中的種子面臨若干命運，發芽的種子可以長成新的個體，但若埋土太深，發芽後可能來不及見到陽光而夭折。土中種子的發芽需要種子休眠特性及土壤環境兩者的配合；不發芽的種子若沒有因其他生物的侵襲，就會留在土中形成種子庫 (soil seed bank)。土中種子庫的組成雖然不一定能完全地反映在下一季所萌芽的雜草，但是仍然足供參考之用，因此雜草種子生態學的研究，有其必要。

二、種子的繁殖與壽命

(一)種子繁殖

種子的生產量因物種、地點及耕作措施而有極大的差異。一般而言，一年生雜草分配於繁殖器官的比例 (reproductive allocation)常較多年生者高，草本植物生長於開放地者，其比例也常較生長於密閉棲地者高。表 1 列舉一些各案研究的結果。

(二)土中種子的壽命

在沒有新種子的加入之下，Roberts and Feast (1973)發現土中特定植物的種子數目逐年遞減，呈現負指數的關係；遞減模式為 $S = S_o \times e^{-gt}$，其中 S_o是種子起始數目，g 是在某環境下該種子的每年減少速率，S 是第 t 年後的種子數目。此模式不但在英國成立，日本、美國、法國等也有學者得到同樣的結論。

這個指數模式預設種子減少速率每年是固定的，表示前面幾年減少的數量較多；年代越久，每年減少的數目越小。然而也有若干例外的案例。至於每年減少速率(g)則因不同物種而有相當大的差異，例如 Mark and Nwachuku (1986)即指出熱帶地區如奈幾利亞的雜草，較溫帶的雜草在土壤中更易死去。因此一個棲地的土壤中，種子庫大小是動態的，受到新入土種子、發芽種子、死亡種子的數目等三個因素的影響；此三個因素雖然常是因年因月而異，然而仍存在一些規則。

表 1. 耕地雜草的種子生產量的個例。

地區	雜草	種子量 m^{-2}	栽培法
英國	大穗看麥娘 *Alopecurus myosuroides*	6,500	冬季穀類
美國	反枝莧 *Amaranthus retroflexus*	1,038,000	施肥區
		415,800	不施肥區
	馬齒莧 *Portulaca oleracea*	78,600	
	匍伏麥草 *Elytriga repens*	634	
加拿大	稷 *Panicum miliaceum*	42,600	豆類
		3,400	玉米
		150	大麥
芬蘭	卷莖蓼 *Polygonum convolvulus*	543	
印度	蒼耳 *Xanthium strumarium*	250	

三、土中雜草種子庫

土中種子種類及數目的差異，因氣候、土壤狀況等環境因素與植被、動物等先前經歷而有所不同。而土中種子數目和種類等數據的正確估計，則是瞭解種子動態最基本的手段。

(一)種子庫的預估方法

由於土地質地及表土深度不一，地上植物種類、數目的差異，以及空間分佈的不均勻，使得種子數目和種類的估計難有統一的方法；而不同的方法所得到的數據其代表的意義也不盡相同。

估計技術的要點在於取樣方法及種子數目的計算方式。決定取樣方法主要的考慮，是樣品數及每個樣品大小兩者間如何調節，以及總土樣大小與研究人、物力間的取捨。如何在研究資源與取樣代表性間取得平衡，是在進行取樣前就必須決定的。樣本數的多寡學者間看法不一，在 1,000 m^2 的農田中，由 50 到 500 個不等。

取得樣品後即可計算種子種類及數目。目前常用來預估種子庫的方法有兩種：

1.分離計數法

分離計數法是以物理方法把種子自土壤分離出來，直接計數種子。研究者所用的過程大致相同 (Tsuyuzaki 1994)，都以篩選或漂浮方法分離種子，僅使用設備不一樣。篩選使用風力或選別機，將種子從風乾後的樣本中分離出來，此法可能無法區分與土壤顆粒同大小或同重的種子，特別是小種子容易丟失。漂浮方法則是用 K_2CO_3、$NaHCO_3$、$MgSO_4$ 等水溶液與土樣相混；種子與土壤分離後，再用篩選或過濾的方式來分離出種子；也可將土壤樣本放入細孔尼龍袋，懸吊在水桶內，動搖而沖掉土壤。此法較簡單，但種子小於孔徑者易流失。

種子分離出後，通常都在解剖鏡下辨認各類植物的種子，並分別計數。種子的活力測定，則是用鉗子挾著種子然後施加壓力，能抵抗壓力者視為具有活力的種子 (Ball and Miller 1989)。此法可能會誤將死種子而仍略堅硬者算入。分離法把土壤與種子分離，因此樣

品體積降低很多，在空間不夠時可以採用。

2.土壤發芽法

土壤發芽法是把土壤樣本放在一容器，移置到溫室讓幼苗出土，計算幼苗的種類及數目。空間夠時可以直接在溫室加水，讓土壤中的種子發芽；發芽後定期辨認和計算幼苗(Egley and Williams 1990)。此法雖操作較易，但是各種雜草的種子所需的發芽條件可能大不相同，部份活種子可能不發芽(Standifer 1980)。針對此缺點，可以俟幼苗萌發停止後，將土樣予以各種休眠解除處理，一段時間後重做試驗，或給予不同的發芽條件。

就兩種方法的比較而言，Ball and Miller(1989)探討不同耕犁方法和除草劑處理對雜草種子庫的影響，發現兩者都適合使用。而郭與陳(2003)在調查稻田鴨舌草種子庫時，則採用兩者的混合法。

(二)土中種子庫的組成與大小

種子庫的大小因地點、狀況的不同而很很大的差異(表 2)，反映出棲地環境、不同的作物與栽培方法的影響。譬如，在英國 Warwick 的蔬菜輪作園，土壤中 *Poa annua* 種子含量為每平方公尺 3,120 粒 (Roberts and Stokes 1965)；而在 Nr Oxford 的大麥，玉米和胡蘿蔔田區，其土壤中種子含量則較少，分別為 1,100～1,700、1,500 和 1,600 粒(Roberts and Neilson 1981)。臺北每平方公尺水田中鴨舌草種子的數目，可因季節而由 0 到 23,638 粒不等(郭及陳 2003)。

1.耕犁之影響

減少雜草種子庫種子數目的方法有輪耕、休耕及其他作物管理法等。Schweizer and Zimdahl (1984b)綜合過去 50 年的作物管理研究發現，無論那一種

表 2. 各種土壤內種子庫大小的個例。

地區	植被型態	種子數 m^{-2}	土深(cm)
台灣	水稻田	23,638	17
美國	農地	4,255 到 29,974	3
	草原	287 到 27,400	
	濕地	50 到 255,000	4-3
	阿拉斯加水分中等的苔原	779	13
日本	草原	23,430	
澳洲	常綠森林	588	5
	半落葉森林	1,069	5
新幾內亞	平地森林	398	5
泰國	低地山地森林	161	5
	荒地	59	5
烏干達	燃燒過的熱帶稀樹草原	520	2
貝里斯	牧場	7,786	4

栽培作業(休閒、減少耕犁、單作、輪作和除草劑處理的耕作)，若無雜草種子的引入，雜草種子庫的種子數目大多數都在 1～4 年內減少。

若休耕田完全不耕犁，任意雜草滋生，土壤會增加許多雜草種子。但是偶爾的耕犁，可使土中雜草種子發芽，若能避免雜草種子再度產生，則能有效地減少土中雜草種子。同是休耕地，一年耕犁兩次，減少土中種子數目的效果比施用除草劑更大 (Roberts and Dawkins 1967, Bridge and Walker 1985)。

經深耕、淺耕或淺耕加底土耕犁後，種子的分佈集中於土壤中層，而深耕能將較多的雜草種子埋在土壤深層。旋轉式犁並無翻轉土壤的作用，僅將土壤予以切碎，因此使雜草種集中於土壤最上層。不同的耕犁方法對雜草相亦有影響。譬如經六年的蔬菜輪作，在經旋轉式犁處理的土壤，早熟禾(*Poa annua*)的族群明顯的增加。若田間有此情形，可偶而採用深耕，以減少此問題。

2.除草劑之影響

持續使用除草劑可降低土中雜草種子數目。Schweizer and Zimdahl (1984a)指出，在玉米單作田區連續六年使用草脫淨(atrazine)，雜草種子可減少 98%。若草脫淨只施用於前三年，後二年不再施用，土中雜草種子的數目會回升至本來密度。而無論是密集(施用量或次數較多)或適度(標準施用量或次數)的雜草管理系統，兩者減少土中雜草種子數目的結果沒有差異(Schweizer and Zimdahl 1974b, Bridges and Walker 1983)。Schweizer and Zimdahl (1984b) 認為當土壤有一龐大的雜草種子庫時，前幾年應該施行密集的雜草管理系統；當雜草種子數目降低至某一程度，則可持續地採用適度的管理系統。

(三)土中種子庫的型態

由於種子的散播與發芽經常有季節性，因此對於土中種子的種類及數目的調查，若不考慮季節性的變遷，則無法得到土中種子庫動態的完整數據。Thompson and Grime (1979)在英國十個地區進行詳盡的週年調查，根據所得到的數據，將溫帶地區草本植物的種子庫分成暫時性與持續性兩大類。暫時性(transient)種子庫指某類種子在土中，僅在一年的部份時期出現，另外的時期則無；持續性(persistent)種子庫指整年皆存可在存於土中者。

在乾燥的或是被干擾棲地中的禾草，如硬繩柄草(*Catapodium rigidum*)、鼠大麥(*Hordeum murinum*)、或黑麥草(*Lolium perenne*) 等，常可形成暫時性種子庫。這類種子夏秋季成熟落土後，短暫的時間內無法發芽；隨後休眠性逐漸消失而在土中發芽，以致在冬天土中種子已全部消失，直到下一季新種子落土為止。另外某些常在早春發芽的草本植物，如峨參(*Anthriscus sylvestris*)與有腺鳳仙花(*Impatiens glandulifera*)等，這類種子的休眠性稍長，土中種子在晚春後始全部消失。

持續性種子庫如細弱剪股穎(*Agrostis tenuis*)、鵝不食草(*Arenaria seropyllifolia*)與絨毛草(*Holcus lanatus*)等，主要在秋季發芽，但整年中至少保持小部份的無休眠種子於土中。另外如整年皆可在土中維持數量較龐大的種

子，常為草本或灌木類植物，如紅葉藜(*Chenopodium rubrum*)與繁縷(*Stellaria media*)等。持續型分為短持續型及長持續型兩類，種子在土中持續存在一至五年者為前者，持續存在至少滿五年才稱為長持續型。長持續型者在植被遭受破壞或消滅時，藉著土中種子而再生的機會最高。

就已知的資料而言，種子的形態、大小、表面質地等與種子庫的類型有關。一般而言，小種子常為持續型，而大種子常為暫時型(Thompson *et al.* 1993)，但發芽特性也會影響，例如種子大者若具有硬實特性，則可能為持續型。Grime (1989)繪製種子庫檢索圖(圖1)，根據種子的大小及發芽特性，可以依圖預測該種子究竟屬於何種種子庫型態。

四、種子的休眠與萌芽

雜草種子常具休眠性，可確保植物在惡劣環境下新植物個體不致於全軍覆沒。休眠用來指稱適合種子發芽環境條件的寬窄。活種子若全無可發芽的條件，可說是絕對的休眠；若發芽的條件最寬廣時，則為無休眠的狀態。從發生學的角度，種子成熟後即具有的休眠稱為先天性休眠(郭 1985)，先天性休眠的種子經過一段後熟時期，休眠性逐漸消失，最後呈現無休眠狀態。種子從完全的休眠到無休眠的期間，可說是處在制約(conditional)休眠。

休眠的程度，是相對於種子與發芽環境的關係而言。當種子處於完全休眠時，表示沒有任何的環境條件，包括溫度，水分及氧氣狀況，足以讓該活種子發芽；當種子處於無休眠時，表示該種子能發芽的環境(例如發芽溫度範圍)最寬廣。處在制約休眠的種子則僅在某特定的環境(如溫度)範圍中才可以發芽，而此範圍較無休眠種子者窄。休眠種子在後熟的過程中，該範圍逐漸擴大。剛成熟的種子則可能是在完全休眠或是無休眠的狀態，也可能在某程度的制約休眠狀態。

種子進入土壤以後，四周環境對種子具有兩個方向的影響。土壤環境，包括溫度、光照、各種有機或無機化合物、以及氧等各類的氣體等，皆可能直接決定種子能否發芽；例如好低溫發芽的種子不會在夏天長出幼苗，而需光種子在深土中也不易發芽。無休眠的種子若處在不合適的環境下，如溫度過高時，也不會發芽。一般土中的種子若翻犛於土表上，當溫度與水分合適，見光則發芽。

由於種子經常處於土壤中，因此也會因這些環境因素的影響，而逐漸改變其休眠狀態，這也是土中種子常顯現休眠循環的原因。由於這些環境因素，特別是土溫隨著季節而變，因而導致種子的季節性萌發。

由此可知有兩因素決定某種子何時自土中發芽，其一是當時的環境因素，其二是種子的休眠狀態，即當時該種子對於環境的需求。環境因素的變動在較大的尺度上，常是可預期且容易測量；種子發芽能力的季節性變遷雖然也有其規律，但各種植物，甚至不同族群皆有所不同，而且在測定上也較麻煩。

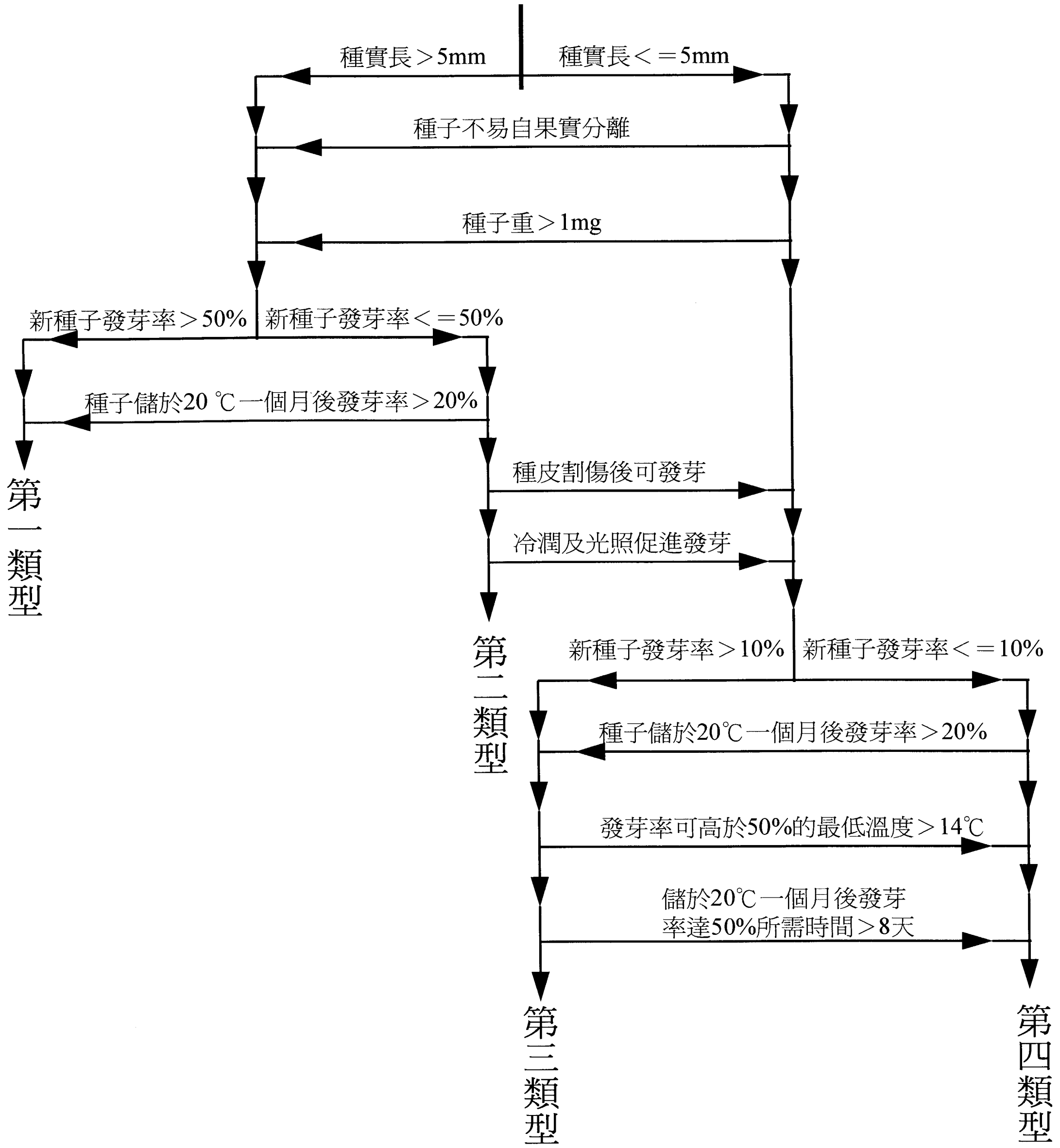

圖 1. 土中種子庫型態檢索圖 (摘仿自 Grime 1989)。

(一)種子休眠循環之測量

測量種子的休眠循環，常先將種子分批放入網袋後，再將各袋種子埋入盛土的黑色塑膠容器內，然後將整個塑膠容器埋入田間，土壤深度 5~10 公分處。所以深埋，是要讓無休眠的種子因環境不適合而不能發芽，讓這些種子有機會去進行休眠性的變遷。否則一經發芽，就不復是種子了。

種子定時取出，取出時要避免塑膠容器中的種子受到光線的刺激，以免試驗結果發生改變；同時將塑膠容器從田間運送至實驗室的過程中，必須使用黑色塑膠袋覆蓋 (Brouwmeester and

Karssen 1992)，以徹底隔絕光線。對於要進行黑暗處理發芽試驗的種子，必須使用這種埋土方法，因為對某些種子而言，種子出土短暫的曝光就具有促進發芽的能力(Scopel *et al.* 1994, 陳 1995)。通常試驗的進行以月為單位，每月定期取出部分種子；種子分成若干小樣品，在各種溫度與光照環境下進行發芽試驗，以瞭解各時期所挖出的種子，在不同環境條件下的發芽能力。

發芽試驗的控制變因有兩項，一為光照，一為溫度。光照處理分為兩種，分別為黑暗處理及每日給予約 8-14 小時光照的處理，以模擬土壤深處及土表種子兩種不同的受光狀況。而溫度的調控則分別採用高低不同的溫度處理，以發芽適溫範圍的寬窄來探知種子的休眠狀態。黑暗處理者，先在綠色安全光暗室中將種子置入培養皿中，外包以鋁箔以隔絕光線，然後放入溫箱中。計數種子或幼芽時亦在綠光下進行。

(二)土中種子發芽能力的變遷

種子休眠程度周年循環的研究，以 Baskin and Baskin (1988, 1989a)之成果最為豐碩。Baskin and Baskin (1988)之研究報告歷時二十餘年，對於美國肯達基及田納西兩州 311 種草本及灌木植物種子進行研究，得到一些休眠變遷的通則。他們將不同植物依其種子發芽季節的不同，大致分為下列數類：

1.夏季一年生植物

以萹蓄(*Polygonum aviculare*)為例(圖 2)，11 月開始埋土試驗時，萹蓄種子在兩種溫度處理下發芽率都接近 0%，埋土一個月後發芽率逐漸上升；此時種子在高溫下發芽率較高，低溫下較低。三月時出土的種子在各溫度下皆有很高的發芽率，五月後，低溫下的發芽率開始下降，但高溫下仍維持高發芽率。到八、九月時發芽率都降的很低，顯示出種子發芽能力的周年循環，在春季時(三月)處於無休眠的狀態，夏季時(八月)處於休眠的狀態，而春夏交接(六月)與秋冬(十二月)則處於制約休眠的狀態。這類植物常於春季發芽夏天開花。

2.絕對冬季一年生植物

以野芝麻屬的 *Lamium purpureum* 為例(圖 3)，五月剛埋於土中的種子處於完全休眠的狀態，在各種溫度下皆不發

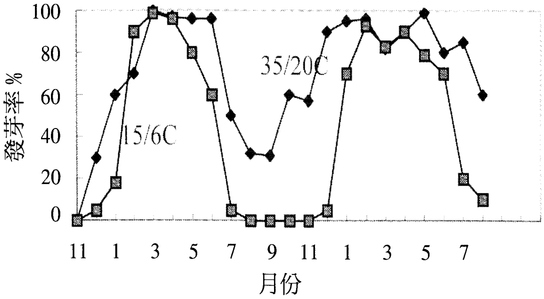

圖 2. 土中萹蓄 (*Polygonum aviculare*)種子發芽能力的週年變遷(數據摘自 Baskin and Baskin 1990)。

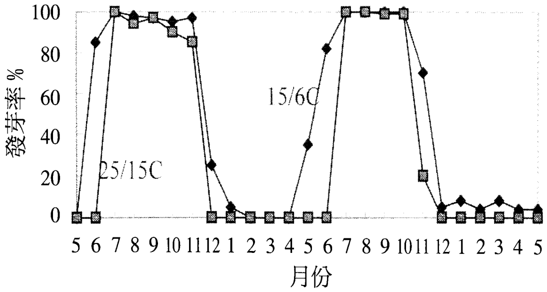

圖 3. 土中 *Lamium purpureum* 種子發芽能力的週年變遷(數據摘自 Baskin and Baskin 1984)。

芽。其後發芽率隨之上升，若在低溫下測發芽率，其上升較快，在高溫下則較慢，與萹蓄恰好相反。七、八月夏天時出土的種子在各溫度下皆有高發芽率，顯示此時種子是無休眠狀態。三月左右種子則處於休眠狀態，而在春夏(五或六月)及秋冬交替時(十一月)則呈現制約休眠。這類植物常在秋天發芽，冬春之際開花結子而後死去。

3.兼性冬季一年生植物

在美國肯達基州，薺菜(*Capsella bursa-pastoris*)種子剛埋土時還是完全休眠(圖 4)，經過一段時間後，低溫發芽能力先上升，十月後冬天出土的種子在高溫下也可以發芽，所以這時種子是處於無休眠的狀態。此後的一兩個月內，種子皆可在低溫下發芽，但是在高溫下的發芽能力則有周期性。一般而言，在秋季時為無休眠狀態，在每年春、夏季時處於制約休眠的狀態。

與春季發芽的一年生夏季植物不同的是，此類兼性冬季一年生植物，種子在春夏季時較低的發芽溫度下仍能發芽，為制約休眠的狀態。絕對冬季一年生的植物則不同；在春夏季種子休眠的期間，無論何種溫度處理，發芽率都接近 0 %的休眠狀態。因此，絕對冬季一年生植物是進行著「休眠-制約休眠-無休眠-制約休眠-休眠」的週期循環，而兼性冬季一年生植物則進行著制約「休眠-無休眠-休眠」的周期循環。兼性冬季一年生植物至少在當地，主要是秋天萌芽，但春天亦有部份種子可以自土中萌發。

4.一年四季都可以發芽的多年生植物

以皺葉酸模 (*Rumex crispus*)的種子為例(Baskin and Baskin 1985)，自一月埋入土中後，二月取出的種子在15/6℃處理下發芽率為 0%，而在其他溫度處理下，發芽率介於 75~90%之間，顯示種子於剛入土時是處於制約休眠的狀態。但埋入土中四個月後取出的種子，在各種溫度處理下的發芽率皆為85~100%，顯示制約休眠已解除。同時直到試驗結束，不論種子何時自土壤中取出，發芽率都在 80%以上。這種類型的植物種子落入土中，一旦制約休眠解除後，就一直維持在無休眠的狀態，所以一年四季都具有發芽能力。但是這類植物仍在某些季節才自然萌芽，這是因為還有環境的季節性變遷在控制種子萌芽。

(四)土中種子的萌芽

1.土溫與種子的萌芽季節

土內種子的休眠狀態有一定的變遷方式。休眠狀態的變化顯現在種子發芽適溫範圍的變寬或變窄。適溫範圍的變化，存在有一些規律，例如冬季一年生植物的種子常需要高溫來解除休眠，而夏季一年生者則需要低溫(層

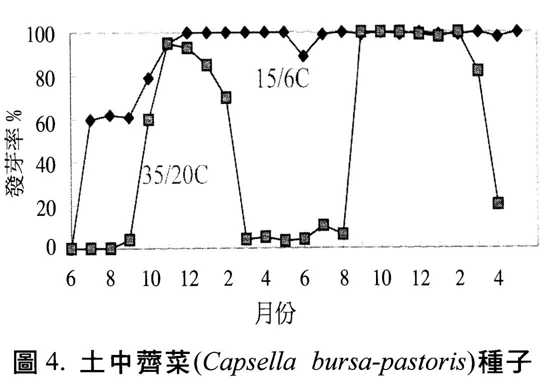

圖 4. 土中薺菜(*Capsella bursa-pastoris*)種子發芽能力的週年變遷 (數據摘自 Baskin and Baskin 1989b)。

積)。實際上田間自然狀態下，種子能否萌芽，除了受到種子休眠狀態的左右外，田間的溫度有無落在發芽適溫內，更是決定的因素。

以夏季一年生植物萹蓄而言，在冬春兩季出土的種子皆可在最高的溫度下發芽，顯示此期間最高發芽溫度(T_{max}，如 35℃)是固定的。在此之前的秋天出土的種子表現出休眠性，表示其適溫範圍甚窄，意即此時最低發芽溫度(T_{min})很高，可說與 T_{max} 同高(圖 5)。然而秋天土溫已降到 20℃，落在發芽適溫範圍(35℃)之外，因此不能發芽。

隨著休眠逐漸解除，發芽適溫範圍逐漸擴大，種子越來越能在低溫下發芽，表示 T_{min} 逐漸降低，直到二、三月無休眠狀態時 T_{min} 達到最低(如 15℃)，形成最大的發芽適溫範圍。不過此時冬天尚未結束，土溫仍在 10℃左右，落在發芽適溫範圍(15~35℃)之外；因儘管種子的休眠程度最低，還是不能發芽。

此後土中種子的休眠性逐漸增加，種子越來越不能在低溫下發芽，表示 T_{min} 逐漸升高，即發芽適溫範圍又逐漸縮小。不過在三至五月春天時土溫已上升，會落在發芽適溫範圍內，因此萹蓄的種子僅在春天發芽。

兼性冬季一年生的植物如薺菜，除了剛成熟之外，終年皆可在低溫下發芽，表示其 T_{min} 不變(圖 6)。夏天出土的種子處在高溫下不能發芽，表示其 T_{max} 很低，幾與 T_{min} 相同 (如 12℃，在台北為 23/13℃，見郭及蔡 1997)。而夏天土溫又偏高，種子當然不可能自行萌長。

入秋後出土的種子可發芽的溫度越來越高，表示 T_{max} 逐漸上升，發芽適溫範圍漸漸擴大。不過需要等到土溫降到發芽適溫範圍之內時，也就是晚秋，種子才可能由土中自行發芽。隆冬之際，種子逐漸步入制約性休眠，發芽適溫範圍漸窄，但是土溫已降到近 0℃，低於 T_{min}，因此種子不能萌芽，不過春天有短暫的土溫上昇，而且落在適溫範圍內，因而在春季也有一小段時期可以發芽。

同理，絕對冬季一年生植物及春夏季發芽的夏季一年生植物，也可經由試驗的結果，推測其適溫範圍。以絕對冬季一年生植物 *Lamium purpureum* 為例，其 T_{min} 在夏秋季是固定的，冬季時

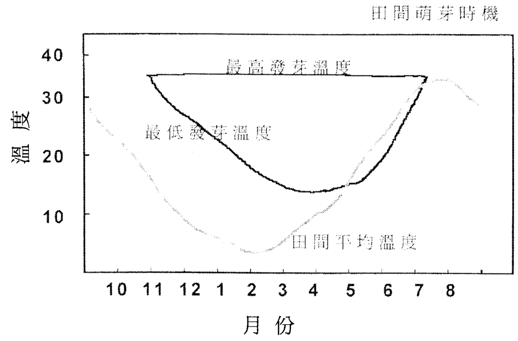

圖 5. 一年生夏季植物的自然萌芽時期(摘仿自 Probert 1992)。

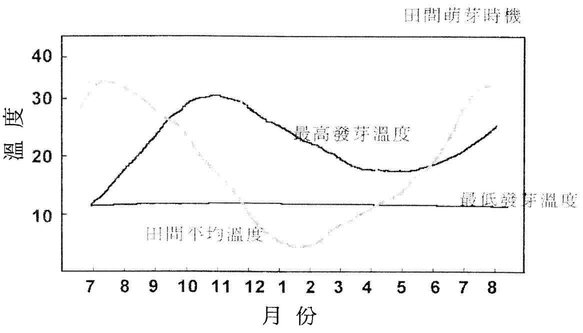

圖 6. 一年生兼性秋季植物的自然萌芽時期(摘仿自 Probert 1992)。

處於休眠狀態，發芽適溫範圍最窄。隨著休眠的解除，T_{max} 漸漸上升，直到秋季時，發芽適溫的範圍最大。因此在秋季時，田間溫度會落在發芽適溫範圍。

夏季一年生植物 *Solanum sarrachoides* (Baskin and Baskin 1983)，T_{max} 是固定的，在春夏季無休眠的狀態，發芽適溫的範圍最大，隨著制約休眠的來臨，T_{min} 漸漸升高，直到冬季時，T_{min} 最高，發芽適溫範圍最小。田間溫度在春夏季時落在可發芽的範圍內，因而在春夏季發芽。

在沒有發芽的情況下，土壤內許多種子呈現出週年性的休眠循環。休眠循環不外是種子休眠性的逐漸解除與逐漸進入所造成；而造成土中種子休眠狀態改變的因素，除了種子本身的韻律外，主要是外界環境如溫度的影響 (Bouwmeester and Karssen 1992)。造成無休眠或制約休眠種子的萌芽，則還是溫度、水勢等環境因素。Totterdell and Roberts (1979)提出假說，認為種子休眠程度是同時受到種子埋土以來所經歷的高、低溫度的控制。Bouwmeester and Karssen (1992)根據此假說提出數學模式，以春蓼種子休眠週年循環的數據，以及各月份的溫度來適配與預測休眠的變遷，得到良好的結果。國內則以無休眠的類地毯草(*Axonopus affinis*)、兩耳草(*Paspalum conjugatum*)(楊 2001)，與小花曼澤蘭 (*Mikania micrantha*)(余 2003)，根據溫度與水勢與種子發芽速率、幼苗成長速率的數學關係，提出模式。利用播種後每天的土溫與土壤水勢數據，可以有效地預測幼苗出土的速率。

五、種子生態與雜草管理

(一)人為干擾地的草相管理

近代農法採用除草劑的化學防除，有效地降低生產成本，並且有助於產量的提高。但是除草劑的普遍使用，雖導致雜草種類銳減，雜草的問題卻仍然存在，每季種植仍皆須噴灑。Jordan (1992) 提出最低密度的雜草管理法 (Threshold management)，強調雜草密度在低於該門檻以下時，對作物產量影響不大。此時雜草防除的成本大於其利潤，因此可以不施用除草劑。此種方法的採用，需要考慮當前的成本(本期雜草對作物的減產)以及將來的成本(不防除所產生雜草種子對於下季作物可能的影響)。進行此雜草管理方法前，對於雜草種子生產、入土、種子田間萌芽時機與數量，及種子數與雜草密度的關係等資訊，皆需要有所瞭解與掌握。

以 Forcella *et al.* (1993)的報告為例，說明如何運用種子生態的知識來減少化學藥劑的使用。在美國米里蘇達州測量 204 塊田的種子庫，發現土中種子數目約在 200 到 16,000 粒 m^{-2} 之間，平均是 2,081 粒 m^{-2}；不過中值為 944 粒 m^{-2}，就是說約有 102 塊田其種子密度在 944 粒 m^{-2} 以下。作者認為這一半的農地在當季皆不需要使用除草劑，用耕犁除草，就可以將雜草族群控制在不影響作物產量的程度。

氏等試驗顯示，雜草密度只要控制在 40 幼苗 m^{-2} 以下，大豆就不至於減產。其次，土中雜草種子中能發芽長成苗的比率約為 40%。由於播種前的耕犁會將剛長出的幼苗除去；越慢耕犁，雜

草種子發芽的越多，因而所降低的土中種子數目就越大。例如延遲到六月耕犁，該地土中種子只剩 10%。

由以上的資訊可知，雜草種子密度在 1,000 粒 m^{-2} 以下(40÷0.4÷0.1)者，調整耕犁期就可以控制雜草的危害，不必使用農藥。不過在當地的狀況，太晚播種本身也會減產，因此需要在機械除草的前提下，就雜草危害與晚耕減產間估算出最適的耕犁期。此研究顯示，若能瞭解田間埋藏的雜草種子的種類與數目，以及其發芽率季節性變化的模式，有助於土壤中雜草種子的控制，達成作物低生產成本及省工栽培的目標。

隨著經濟環境的變遷，人為干擾的土地除了是農地外，其它新的土地用途，包括大型工廠的周邊綠地、道路邊緣草皮、都會公園、球場、馬場、野餐場、鄉村公園、休閒農場等的面積，近年來已急速增加。就已開發國家而言，傳統上這些草皮以種植綠色的單純草相為主，是較密集的管理。但是管理的成本頗大，因此近年來興起了野花草地，其特點是粗放管理、草相較雜、而且包含各種野花物種來增加觀賞或教育的價值。

野花草地基本上是生產本地野花種子，配合地區的環境特性選擇植物，以一定比例的種子混種，並做適當的管理。在先進國家野花草皮已行之有年，而且造就一定的野花種子市場(Brown 1989, 郭 1995)。有關種子生態習性的瞭解，可以提供植物種類選擇及播種管理上的參考，也有助於種子公司生產品質較高的種子。新竹鄉間二期稻作收割後，不需犁田，田間自然長出早苗蓼(*Polygonum lappathifolium*)，草相單純，在開花期造成較為美觀的農村景觀。這種自播性的植物，並非每年必可出現，可能與田間管理的技術有關。早苗蓼種子冬季大量落土時具有制約休眠特性，在水稻栽培期間土壤湛水缺氧狀態下更不能發芽，但可以保持生命力；而到了二期稻作收穫後，由於土壤不再積水，土溫合適於發芽，而且當時種子已呈無休眠狀態，更不再有水稻植體的遮蔭，因此土壤表層中大量的種子就自行發芽，形成壯麗的單一植被景觀，生質量也頗大(蘇 1995)。

早苗蓼充做綠肥，其效果與傳統物種相當(蘇 1995)。鑑於非豆科的大菜、油菜等也是傳統的綠肥，具有自播性的早苗蓼(蘇等 1996)，不需種子及播種費用，因此此種「自播性綠肥」應是值得研究推廣的。早苗蓼易於防除，植株淹水即死；而在旱田下，埋得較深的種子在夏天以後已無休眠性，而且逐漸在黑暗中也可發芽。因此進入秋冬以後，種子大多已在土中發芽死去，不致於累積成持續性的種子庫，因而在推廣上會形成頑強雜草的問題較少。

(二)自然植被的復建與管理

由於耕地、道路、工業區等的不斷擴充，環境植被的復建及管理的工作需求日見增加。植被的復建，講求的是當地野生植物群落的再現，並非單純植相的栽培工程所能比擬。

高歧異度草相的復建，需要種類繁多的植物繁殖體，比較保險的方法是生產、採集野生植物種子做人為播種，或逕做移植，因而必需累績大量的採種及

種苗生產的技術，才能順利完成。澳大利亞礦區的當地植物復育，就累積了這方面豐富的資料(Langkamp 1987)。此法雖最可靠，然而有時植材不易取得，而且所費不貲。這些資料對於其他地區也不見得能全盤接受；環境不同的地區，植物不一樣，有關的技術還是應在當地自行發展。

由於植物種類甚多，這些技術不一定容易獲得，可能也沒有種苗商供應更如此多的植物。因此若要進行本地植物的復建，不論是做為食用、畜牧用、或是水土保持，或是景觀的需要，最簡單的方式是順其自然，讓野生植物的種子經由散播而重新形成群落。不過由於人為的因素，近來許多地區受隔離的情況日益嚴重，因此自然散播越行緩慢而且不易預期。

另一個方法則是善用土壤中的種子，只要土壤中含有所需要的種子，數量也足夠，配合適當的管理措施，來讓這些種子在適當的時期自行長出。

利用土中種子庫進行植被復育的案例，在近年逐漸增多(Leck *et al.* 1989)。例如 Wade 取部份的森林表土(Pascoe 1994)，可以作為原生植物復育工作的材料；礦區或濕地在被變更使用前，也可以將表土刮移到需要復建之處(Valk and Pederson 1989)。直接利用原地的種子庫作為復建之用，則與植被破壞的年限以及種子在土中的壽命有關。土中種子一旦消失，當然就無法進行復建。

土中種子庫不但可用來復建本地植物，也可藉以控制既有植被的組成與結構。火燒、過度放牧、乾旱、淹水等造成地上植物毀滅，藉由土中種子再生出新植被的例子不少；藉由人為的管理來達到相同效果的例子較少，以美國為例，有草原用火燒的方法，去除現有的外來種植被，然後依靠土中種子庫自行恢復原來族群。

淡水濕地也可以定時放水降低水位，以便由土中再生所需要的植物，這方面在美國中西部做的研究相當多(Valk and Pederson 1989)。研究顯示，在進行各種管理措施之前，宜先調查土中種子庫的狀況。而土中種子庫的調查也可以用來預測將來植被的組成。

六、結語

種子生態學是植物生態學的一個部門。除了無性生殖外，植物個體皆始於土中種子的萌芽。植物個體種子經重力、彈跳、旋鑽等自主性散播，或藉風力、水力及動物等藉物性散播。離開母體後，再經由耕犁、土壤隙縫或動物的助力而埋於土中。土中的種子發芽成新植物個體，完成其生命循環，但也可能因動物吞食、微生物侵入或本身劣變而死亡。發芽或死亡都會減少土中的種子數目—所謂土壤種子庫，留存於土中的活種子則可能處於各種休眠的狀態。影響土中種子的種類及數目的因素甚多，包括氣候、土壤狀況等環境因素，與植被、動物等先前經歷等。土壤種子庫的估計方法一般可分為兩類，即土壤發芽與分離計數；取樣技術包括樣品大小、樣品數目及取樣時間等，皆須經周詳的考慮。就草本植物而言，根據土中種子數目的週年變遷，可將土壤種子庫

分成持續性與暫時性等兩大類型。持續性者整年皆有種子，常為需光性的小種子，發芽環境較狹窄；暫時性者在某些月份土中無種子，種子常較大，發芽所需的溫度及光照條件較寬鬆。種子在土中發芽與死亡之間，可能歷經休眠循環。完整的休眠循環是「休眠--制約性休眠-無休眠-制約性休眠-休眠」。無休眠的種子能否發芽，以及種子如何進入各階段的休眠循環，皆是受到環境因素，如水分、氣體、光照，特別是溫度的影響。種子休眠型態的週年變遷，符合植物的生長習性，如冬季一年生植物、夏季一年生植物、兼性冬季一年生植物、多年生植物等。種子生態習性的研究，有諸多應用的可能，如野生蔬菜及自播性綠肥的生產，雜草、牧場、閒置地、野花草坪的管理，以及保育地、濕地的植物復健等。

種子生態學的歷史雖然不短，然而主要的內容卻是近二十年才逐漸累積起來；和其它領域相比，可以說仍屬於相當年青的學門。由種子生理生態探討，可以瞭解種子在各類棲地上植被更新演替上的功能，在植被管理上，種子生態學的探討也有很大的貢獻。

臺灣本島氣候地形極其多樣，植物種類的範圍非常廣泛；站在植物生態學學術研究的立場，可說是蘊量甚豐的寶藏。種子生態的研究，當有助於全區生態體系的建構。而因為經濟環境的變遷，不論是無農藥的有機栽培雜草管理方法，或是各類保育地、新興草地、甚至於休閒農地的植相管理的技術，皆迫切需要發展，種子生態的應用研究當有相當的助益。

由於種子生態學的範圍相當遼闊，限於能力，本文僅就其中的部份內容介紹，冀能拋磚引玉，使這門學問在我國得以充分的發展。

七、參考文獻

余宣穎。2003。小花蔓澤蘭種子發芽生態學之研究。國立臺灣大學農藝學系碩士論文。台北市。

郭華仁。1985。充實期間環境因素與成熟種子發芽能力。科學農業 33: 9-13。

郭華仁。1995。野花種子：英國的經驗。種苗通訊 22:3-5。

郭華仁、陳博惠。2003。水田土中鴨舌草種子數目的季節性變化。中華民國雜草學會會刊 24：1-8。

郭華仁、蔡新舉。1997。土中薺菜種子發芽能力的週年變遷。中華民國雜草學會會刊 18:19-28。

楊軒昂。2001。類地毯草及兩耳草種子的發芽生態學。國立臺灣大學農藝學系碩士論文。台北市。

陳博惠。1995。鴨舌草種子發芽與休眠之生理生態學研究。國立臺灣大學農藝學系碩士論文。台北市。

蘇育萩。1995。水稻田用早苗蓼作為綠肥之研究。國立台灣大學農化學系博士論文。台北市。

蘇育萩、鍾仁賜、黃振增、郭華仁、林鴻淇。1999。早苗蓼在浸水土壤中的礦化作用。中國農業化學會誌 37: 215-224。

Ball, D.A. and D. Miller.1989. A comparison of techniques for estimation of arable soil seed banks and their relationship to weed flora. Weed Res. 29: 365-373.

Baskin, C.C. and J.M. Baskin. 1988. Germination ecophysiology of herbaceous plant species in a temperate region. Amer.

J. Bot. 75:286-305.

Baskin, J.M. and C.C. Baskin. 1983. Field emergence and temperature requirements for germination in *Solanum sarrachoides* Sendt. Weed Res. 23:247-252.

Baskin, J.M. and C.C. Baskin. 1984. Role of temperature in regulating timing of germination in soil seed reserves of *Labium purpureum*. Weed Res. 24: 341-349.

Baskin, J.M. and C.C. Baskin. 1985. Does seed dormancy play a role in the germination ecophysiology of *Rumex crispus*? Weed Sci. 33:340-344.

Baskin, J.M. and C.C. Baskin.1989a. Physiology of dormancy and germination in relation to seed bank ecology. p.53-66. *In*: Ecology of Soil Seed Banks. M.A. Leck , V.T. Parker and R.L.Simpson, eds. Academic Press, San Diego, CA.

Baskin, J.M. and C.C. Baskin. 1989b. Germination responses of buried seeds of *Capsella bursa-pastoris* ecposed to seasonal temperature changed. Weed Res. 29:205-212.

Baskin, J.M. and C.C. Baskin. 1990. The role of light and alternating temperatures on germination of *Polygonum aviculare* seeds exhumed on various dates. Weed Res. 30:397-402.

Bouwmeester, H.J. and C.M. Karssen. 1992. The dual role of temperature in the regulation of the seasonal changes in dormancy and germination of seeds of *Polygonum persicaria* L. Oecologia 90: 88-94

Bridges, D.C. and R.H. Walker. 1985. Influence of weed management and cropping system on sicklepod (*Cassia obtusifolia*) seed in soil. Weed Sci. 33: 800-804.

Brown, R.J. 1989. Wildflower seed mixtures: Supply and demand in the horticultural industry. p.201-220. *In*: Biological Habitat Reconstruction. G.P. Buckley, ed. Belhaven Press, London.

Egley, G.H. and R.D. Williams. 1990. Decline of weed seeds and seeding emergence over five years as affected by soil disturbances. Weed Sci. 38:504-510.

Forcella, F., K. Eradat-Oskoui and S.W. Wagner. 1993. Application of weed seedband ecology to low-input crop management. Ecol. Appl. 3:74-83.

Grime, J.P. 1989 Seed banks in ecological perspective. p.xv-xxii. *In*: Ecology of Soil Seed Banks. M.A. Leck, V.T. Parker and R.L.Simpson, eds. Academic Press, San Diego.

Jordan, N. 1992. Weed demography and population dynamics: Implications for threshold management. Weed Technol. 6:184-10.

Langkamp, P.J. ed. 1987. Germination of Australian Native Plant Seed. Inkata Press, Melbourne, Sydney.

Leck, M.A., V.T. Parker and R.L. Simpson. eds. 1989. Ecology of Soil Seed Banks. Academic Press, San Diego, CA.

Marks, M.K. and A.C. Nwachuku. 1986. Seed-bank characteristics in a group of tropical weeds. Weed Res. 26:151-157.

Pascoe, F. 1994. Using soil seed banks to bring plant communities into classroom. Amer. Biol. Teacher 7:429-432.

Probert, R.J. 1992. The role of temperature in germination ecophysiology. p.285-325. *In*: Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities. M. Fenner, ed. CAB International, Wallingford, UK.

Roberts H.A. and J.E. Neilson. 1981. Changes in the soil seed bank of four long-term crop/herbicide experiments. J. Appl. Ecol. 18: 661-668.

Roberts, H.A. and F.G. Stokes. 1965. Studies on the weeds of vegetable crops. V, Final observations on an experiment with different primary cultivations. J. Appl. Ecol. 2:307-315.

Roberts, H.A. and P.A. Dawkins. 1967. Effect of cultivation on the numbers of viable weed seeds in soil. Weed Res. 7:290-301.

Roberts, H.A. and P.M. Feast. 1973. Changes in the numbers of viable weed seeds in soil under different regimes. Weed Res. 13:298-303.

Schweizer, E.E. and R.J. Zimdahl. 1984a. Weed seed decline in irrigated soil after six years of continuous corn (*Zea mays*) and herbicides. Weed Sci. 32:76-83.

Schweizer, E.E. and R.J. Zimdahl. 1984b. Weed seed decline in irrigated soil after rotation of crops and herbicides. Weed Sci. 32:84-89.

Scopel, A.L., C.L. Ballare and S.R. Radosevich. 1994. Photostimulation of seed germination during soil tillage. New Phytologist 126:145-152.

Standifer, L.C. 1980. A technique for estimating weed seed populations in cultivated soil. Weed Sci. 28:134-138.

Thompson, K. and J.P. Grime. 1979. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. J. Ecol. 67:893-921.

Thompson, K., S.R. Band and J.G. Hodgson. 1993. Seed size and shape predict persistence in soil. Func. Ecol. 7:236-241.

Totterdell, S. and E.H. Roberts. 1979. Effects of low temperatures on the loss of innate dormancy and the development of induced dormancy in seeds of *Rumex obtusifolius* L. and *Rumex crispus* L. Plant Cell Environ. 2:131-137.

Tsuyuzaki, S. 1994. Rapid seed extraction from soils by a flotation method. Weed Res. 34:433-436.

Van der Valk, A.G. and R.L. Pederson. 1989. Seed banks and the management and restoration of natural vegetation. p.329-346. *In*: Ecology of Soil Seed Banks. M.A. Leck, V.T. Parker and R.L. Simpson, eds. Academic Press, San Diego, CA.

第三章　耕地雜草與非耕地雜草

謝清祥
國立屏東科技大學農園生產系

一、前言

耕地作物之雜草控制方式主要為綜合防除管理，包括：作物之競爭力、輪作及化學方法等。臺灣地區耕地主要以水稻及旱地雜作為主，但其耕作制度均明顯不同，因此所產生雜草族群相有明顯之差異。本章主要介紹水田及旱作(大豆、玉米、落花生等)之各別耕地中常見之主要一年生、多年生雜草種類及其化學防除方式。非耕地最少耕犁及不整地栽培系統，其雜草相已逐漸趨於多年生雜草及適應此系統之一年生雜草。非農耕地以休耕地、路邊、田園周邊等為主，常見一年生、多年生雜草種類及其化學防除方式，亦一併整理介紹。

二、耕作與雜草

(一)整地及中耕對雜草之影響

作物生產過程中執行雜草控制，是必須之措施，因為雜草之存在潛在威脅作物之產量，且其族群在田間複年之出現亦可成為昆蟲和病原菌之溫床，對作物生產可能產生嚴重之危害。雜草與作物均為植物，共同利用土壤而佔據其生長空間。以農夫利益而言，雜草因作物之存在而往往成為被消滅之對象，但二者基本之生長與發育需求是相同的，均需要適當的溫度、光、養分，濕度和二氧化碳。當作物與雜草並存在一起時，生長時空間交錯、根系相纏、植株互相遮蔽，因此較快速成長者經常成為顯著之物種。

作物生產過程中之耕犁是準備作物種植前之土壤打碎，尤其是土壤之翻犁可掩埋雜草種子，使其存在於不利發芽之環境中，如此可降低年度內雜草之族群。尤其是受控制之雜草地，因為絕大多雜草種子常在作物種植延期後已萌芽且生長。另外，第二次耕犁可大量抑制雜草，此類之雜草也可利用除草劑防除。

耕犁之目的在於準備適宜的作物種子床面，雜草防除為其次要功能。耕犁可清除(殺死)多年生雜草，經由物理傷害其營養生長部位，並同加速其植體受微生物攻擊。此項操作亦可能留下雜草之繁殖器官於土壤表面，促使其遭受凍害或乾旱逆境。重複之耕犁，可降低植物碳水化合物積儲而使植體軟弱。

以生態之角度而言，耕犁主要影響雜草於雜草-作物生態系統中之物理環境，如土壤剖面中雜草種子(與植株殘體)之分佈和溫度、濕度環境，這些因子可影響雜草物種之發芽與建立，因此各物種之發芽與建立得以區分。

控制多年生雜草之主要操作原理，可簡化為碳水化合物來源之移除或

營養繁殖系統(碳水化合物積儲庫)之減低。當地上部生長且行光合作用時，此儲藏庫將會被充實；當莖(地上部)被割除時，植物即利用其物質去產生新生長；當耕犁操作頻繁時，此積儲被消耗殆盡導致植株死亡。

中耕(cultivation)是以機械鬆動土壤之田間種植準備，屬於收穫及收穫後之土壤管理。中耕翻鬆作物殘體，調整土壤和助益排水，它以包埋方式控制雜草，分離雜草植體之莖與根。中耕亦可能刺激休眠性種子及其芽之萌發，使莖部乾旱並消耗多年生雜草之碳水化合物積儲。

不整地栽培和最少耕犁制度之來臨，顯示耕犁操作並不能對控制雜草多所助益，太頻繁之耕犁往往增加土壤擠壓和無性繁殖器官之萌發。其他壞處還包括暴露土壤使其易於流失、降低土壤溼度、刺激休眠種子和繁殖芽之萌發等。行間之中耕除草，主要目的在於控制作物行間植體較小之雜草。有時深耕及耕犁並非為土壤準備而操作，主要之原因是田間形成草毯之多年生草類過多，而此現象常發生在開發中國家。

(二)耕犁方式

作物栽培過程中常見之耕犁方式有：(1)傳統耕犁(conventional tillage)，(2)最少耕犁(minimum tillage)，(3)保留耕犁(conservation tillage)，(4)畦式耕犁(ridge-till)，及(5)生態農耕(ecofarming)等。

傳統之耕犁方式於不同地理區執行方法皆異，主要之實施乃於作物栽培過程之前、中及後期實施必要之耕犁操作。一般規則是操作及播種後之操作土壤表面之殘渣少於 30%。亦有所謂清潔耕犁(clean tillage)之操作，原則上土壤表面已不具任何植物殘體。傳統耕犁使用之機具包括耙、圓碟、深耕器等，此類耕犁通常會以圓碟或中耕器再次進行操作疏鬆及攪碎土壤。保留耕犁被定義為操作至少仍有 30%以上植株殘體於土壤表面，農作物生長於最少耕犁之農田(地)上。

最少耕犁或不整地耕犁栽培之概念，源自於發展出某些除草劑可取代傳統耕犁除草之效果。因為大多數連續之耕犁操作主要目的，即在防除雜草，最少耕犁及不整地栽培方式可減少因防除雜草而必須進行之耕犁操作，並保留植株殘體使成為土壤之覆蓋材料。因此，可減少土壤因風力或降雨而產生之沖蝕，增加土壤水分之保留。此外，此項操作之益處還包括人力、土地、肥料、病蟲害防治和水分資源之更有效利用。

畦式耕犁系統則是一般於秋季收穫後保持土壤不受翻動，至過冬，而作物則是栽培於春季耕犁時所重整之畦上。於種植時，畦上並無植株殘體及雜草種子，同時畦上施以萌前除草劑以消除雜草種子之萌發，有時亦於種植前噴施除草劑以消滅冬季一年生及早夏一年生之雜草。

生態農耕是用於穀類生產區域之一種技術，主要目的在於幫助田間水土保持。此系統主要是利用冬季小麥之枯草和良好之雜草防除，而管理土壤水分和防止雜草種子之生產，一般採用之方式於穀類收穫後噴施除草劑，以防止雜草生長和其種子之生產，並於冬季保留田間休耕而於

次年春季實施不整地栽培，且於早期種植前或種植中施用除草劑。

耕犁除草之成功取決於生物性之因素包括：(1)雜草與作物之相似性，(2)雜草之萌芽時機、速率及(3)多年生特性。成功之機械性除草操作亦受人為因素之影響，操作者應具備：(1)了解土地及(2)熟悉耕作條件，始能達到有效之雜草防除。

三、耕地雜草管理

(一)水稻

水稻栽培在臺灣地區屬於低地(lowland)栽培系統，於生長至收穫中部分時間行田間浸水式之操作，但其他國家及地區亦有旱作(highland)式栽培系統，全仰賴自然降雨之非灌溉田間栽培，此二系統之耕作操作並不相同。旱作水稻之種植以撒播、條播等為主，最常見之除草方式為手工拔除或藉由獸力耕犁之方式。熱帶、亞熱帶地區常見之雜草有禾本科草類(如稗草、牛筋草、馬唐、雀稗等)和濶 葉草(如野莧、鴨跖草、飛揚、馬齒莧等)。低地水稻利用播種或移植幼苗方式種植，田區需相當平坦以便淹水操作，此操作對其雜草控制是相當之重要。淹水可以防止許多雜草種子萌芽及生長，因水稻植株對田間土壤缺氧之環境具極大之耐性，較多種雜草為強。在直播式水稻田，淹水操作必須等待水稻植株建立後才能進行。因此，其萌芽後雜草控制是必要的。最常見之低地水稻栽培為莎草類(木虱草、雙穗雀稗等)及濶葉之飛揚草、鱧腸、吐金草等。此類雜草亦非常適應水生之環境，生長快速、繁殖量大對水稻之生長競爭力大。許多這類物種生長類似水稻模式，尤其是其發育初期，因此常造成手工拔除之困擾。

水稻田之雜草管理，基本上需要採用綜合防除管理方式，包含良好土壤準備、灌排水管理、適當除草劑利用及選用競爭力之品種。耕犁操作可提供-良好水稻苗床，同時亦可有效清除如莎草科類之雜草等程序。若這類雜草之繁殖時期恰處於田間操作之乾旱期，則可有效降低其田間之密度，臺灣地區常見之水田雜草如表 1。

表 1. 臺灣地區常見水田雜草。

栽培系統	雜草名稱
水田　耕犁前	水稗、鴨舌草、蘋草、滿天星、母草及其它禾本科、莎草科、菊科等一年生或多年生雜草
秧田雜草	水稗、鴨舌草、球花蒿草、母草、紅骨草、水丁香、螢藺、木虱草等
插秧後	稗草、鴨舌草、野茨菰、瓜皮草、水蝨草、尖瓣花、木虱草、螢藺
旱田直播	水稗、鴨舌草、球花蒿草、母草、牛毛氈、鼠麴舅、珠仔草
濕田直播	水稗、鴨舌草、水丁香、母草、螢藺、畔茅、牛毛氈、紅骨草

(二)旱作

1.大豆(毛豆)

(1)耕作系統與雜草管理

大豆栽培時，田間雜草通常隨著主作物一起萌芽出土，所以在栽培早期有效之雜草管理將可防止作物產量之損失。任何因雜草之覆蓋，或因競爭而產生土壤溼度之損失，可能會導致嚴重之大豆植株減緩生長。因此，大豆種植後 3-4 週之良好雜草控制，可降低此類之損失。此外，植床之準備，利用強勢品種和土壤水分溼度之控制等措施，將有助於大豆植冠(canopy)快速之密集連結，可遮蔽較弱勢之雜草並減緩其生長。若雜草生長超出大豆植冠，則可以噴施選擇性除草劑去除。在中耕操作上，迴轉犁之使用為另一種有效且經濟之雜草控制方式，使用最有效之時機為當土壤表面乾燥微裂且雜草剛萌芽時(低於 1/4 吋高)。臺灣大豆田之雜草種類，主要如香附子、藿香薊、牛筋草、乳仔草、野莧、馬齒莧、馬唐類、水蜈蚣、雙穗雀稗、稗草、鵝兒腸、珠仔草等，在雜草管理上除早期管理外，綜合性防除包括耕犁、中耕、輪作及除草劑防除之互相配合為最常使用之方式，臺灣地區及國外常用之殺草劑如表 2。

(2)化學防除

大豆防除雜草之藥劑已發展出眾多種類，通常其防除系統始於利用種植前混入土壤之除草劑處理，或是種植後土壤表面噴施萌前除草劑，需要時再加入迴轉犁 1-2 次中耕。利用萌後除草劑之決定端視雜草於萌前處理後之存活量或密度，近年來亦發展出可耐除草劑之大豆品種，此亦改變了除草劑使用之模式。

2.玉米

(1)耕作系統與雜草管理

玉米田雜草控制主要應用綜合性防除策略，包括採用田地選擇、輪作、作物-雜草競爭、耕犁、中耕和除草劑之使用等作業。玉米之產量通常會因雜草之存在而減少，尤其當其植株未達 15-20 公分高時。在玉米栽培上，耕犁之方式必須配合作物生長之模式，因為玉米根系相當淺層，中耕時之耕犁深度只要足以移除或覆蓋雜草即可，如此可避免或降低對玉米根系之傷害或疏拔。迴轉犁、圓碟犁為當玉米植株仍小時常用之中耕方式，當植株高度達 7-9 公分時，中耕操作需即時進行以除去行間之雜草，並將土壤覆蓋至作物根部及掩埋較小雜草，且中耕操作需反覆執行直到植株達 50-61 公分高，在作物生產全程大約需 3-4 次。耕犁操作之深度達 15 公分時，將可能傷害及去除大量玉米莖桿邊 15 公分內之根系，而引起嚴重之植株萎凋，尤其是在氣候乾旱期。此外，栽培後期之中耕亦往往會帶來產量之損失。因此，若此操作為必須時，耕犁需調整較淺深度。玉米田之萌後除草劑處理，可降低雜草之密度，除草劑與中耕之配合應用常被視為一有效之玉米雜草管理方式。臺灣地區常見玉米田雜草如表 3，臺灣地區及國外玉米田常用除草劑如表 4。

(2)化學防除

在美國及加拿大之大多數地區，有效化學藥劑防除係分別施以(1)種植前、(2)雜草萌芽前、及(3)作物與雜草萌發後之處理。種植前田間藥劑處理，可

施於雜草種子萌發前、撒佈於土壤表面或混入土壤中。土壤表面佈施處理，若配合降雨或噴灌方式，可增進其防除效能。某些具揮發性之藥劑，則較適於混合入土壤中，此時作物種子必須能忍受此類藥劑且仍有良好之萌芽率。藥劑混入土壤之操作，通常須選擇適當工具(如迴轉犁、圓碟犁等)，使之混入土壤內 5-8 公分深度。萌前處理藥劑之施用適於作物種子尚未萌芽前噴施於土壤表面，此時雜草可能部分已萌發或未萌發。萌後處理則施用於作物已萌芽後之不同時期，此時具高度選擇性藥劑常被使用，以減少對本作物之危害。具中等選擇性部分萌後藥劑之，可於尚未接觸主作物時，直接噴施於雜草植株。非選擇性除草劑，則必須利用罩杯於噴頭前，以降低對本作物之直接接觸。

表 2. 臺灣及國外常用之大豆田間除草劑。

地區	萌芽前處理	萌芽後處理
臺灣	拉草(alachlor)、莫多草(metolachlor)、施得圃(pendimethalin)、理有龍(linuron)	伏寄普(fluazifop-butyl)、甲基合氯氟(haloxyfop-methyl)、西殺草(sethoxydim)、亞喜芬(acifluorfen)、本達隆(bentazon)
國外	alachlor、bifenox、chloramben、chlorpropham、chlorbormuron、DCPA、dinoseb、diphenamid、glyphosate、linuron、metolachlor、metribuzin、naptalam、oryzalin、oxyfluorfen、paraquat、propachlor	acifluorfen、barban、bentazon、2,4-DB、dinoseb、dichlfop-methyl、glyphosate、metribuzin、oxyfluorfen

表 3. 臺灣常見之玉米田雜草種類。

播種前	播種後
小葉灰藋、長葉雀稗、山芥菜、碎米莎草、稗草、馬齒莧、短葉水蜈蚣、苦識草、野莧、旱辣蓼	牛筋草、野莧、旱辣蓼、苦識草、馬齒莧、龍葵、刺莧、山芥菜、小葉灰藋

表 4. 國內、外常用之玉米田除草劑。

地區	萌芽前處理	萌芽後處理
臺灣	50% 施圃草脫淨(pendimethalin+atrazine)、拉草(alachlor)、施得圃(pendimethalin)、理有龍(linuron)、樂滅草(oxadiazon)	伏寄普(fluazifop-butyl)、甲基合氯氟(haloxyfop-methyl)、西殺草(sethoxydim)、亞喜芬(acifluorfen)、本達隆(bentazon)
國外	acetachor、acetachor+Atrazine、acetachor+pendimethalin、alachlor、alachlor+Atrazine、atrazine、atrazine+pendimethalin、dicamba、dicamba+pendimethalin、flumetsulam、cyanazine、isoxaflutole、sulfosate	acetachlor、bentazon、bromoxynil、2,4-D、dicamba、flumiclorac、halosulfuron、metribuzin、nicosulfuren、pyridate、mesotrione

3.落花生

(1)耕作系統與雜草管理

落花生之根系於種植及萌芽後發展快速，但其新葉萌發則較遲緩，在不良環境下，根系於 4、6、12 天內可達約 5、15、38 公分長。相對的，地上部之第一片葉一直到種植後 7-12 天始萌發，如此特殊之生長模式，需要同時仰賴機械與化學之雜草防除方式。迴轉式及齒狀中耕器常被利用為落花生中耕除草之用，其使用時機通常在落花生種子萌芽之前、後，以控制較小之雜草植株幼苗。栽培期中則往往需要 2-4 次之中耕操作，若配合除草劑之使用則其次數可相對降低。目前，中耕操作之使用次數，通常視化學除草劑使用之效果而定。因為，中耕對落花生之生長並無多大益處，且中耕時須注意勿將土壤覆蓋落花生藤蔓而減緩其生長。臺灣地區常見之落花生雜草如表 5，臺灣地區及國外常用之落花生除草劑如表 6。

(2)化學防除

在落花生栽培管理上，化學藥劑為控制雜草最有效之方式。施用法包括播植前混入土壤、萌前及萌後處理等。在作物苗床處理後期將藥劑混入土壤可有效防止雜草種子萌芽，萌前處理則是種植後但落花生及雜草未萌芽前。此操作可於緊鄰種植後或土壤鬆裂時，亦可於種植後 6 日時實施，當落花生根系深入土壤時可避免受除草劑之傷害。

四、非耕地雜草管理

(一)最少耕犁及不整地栽培

Ball and Miller (1993)之研究顯示，由傳統耕犁轉換成保留耕犁系統，可能會導致雜草物種組成之改變，此種轉換可能導致對已存在之耕犁系統忍受性增加之雜草萌芽。玉米作物栽培，在傳統耕犁及不整地栽培比較下，馬唐屬多年生雜草存在於不整地栽培較多，

表 5. 臺灣常見之落花生雜草種類。

萌芽前	萌芽後
旱辣蓼、藿香薊、小葉灰藋、龍葵、牛筋草、野莧、稗草、狗牙根、狗尾草、馬唐、小指草、碎米莎草	牛筋草、小指草、大指草、野稗、狗牙根、畫眉草、竹節草、兩耳草、馬齒莧、小葉灰藋、鱧腸、芒稷

表 6. 國內、外常用之落花生用除草劑。

地區	萌芽前處理	萌芽後處理
臺灣	拉草(alachlor)、理有龍(linuron)、施得圃(pendimethalin)、比達寧(butralin)、樂滅草(oxaliagon)	伏寄普 (fluazifop-butyl)、西殺草(sethoxydim)
	種植時	出土時
國外	alachlor、chlorambem、dinoseb、metolachlor、naptalam、trifluralin、vernolate	alachlor、bentazon dinoseb、dinoseb、diphenamid、2,4-DB、metolachlor

而濶 葉一年生莧屬(*Amaranthus*)及藜屬(*Chenopodium*)則在傳統耕犁制度下出現較頻繁。多年生雜草族群於減少耕犁(reduced tillage)及不整地栽培下會增加。

利用最少耕犁或不整地栽培，是作物生產上許多因素考量下之決策，主要原因包括經濟面和降低土壤沖蝕，任何防除雜草但減低耕犁操作之管理方式均有利於土壤結構，尤其是在低雨量地區之作物栽培。根據以往數據顯示，此種操作對生態式之栽培極為有利，在小麥及穀粒高粱生產上，施行此法可降低成本，在最少耕犁非灌溉栽培玉米上，其產量不如灌溉玉米區，但其生產成本顯著為低(如表 7)。但此種耕犁方式往往需仰賴化學除草劑之使用，尤其是在開發中之國家，而且使土壤管理方式因植體殘留存在而複雜化。當多量雜草種子存在於土壤中時，最好利用不整地及最少耕犁之方式，乃是讓自然之因素去降低埋藏種子族群。若某年之雜草控制失敗，此時土壤雜草種子庫存自然減少，因此最好之策略乃是進行深耕後再行最少耕犁。在最少耕犁後之第一年行不整地栽培，雜草幼苗將比傳統耕犁為多，但在後續之數年會有較少雜草幼苗萌發，除非其休眠性高或土壤表面雜草之其存活率高。

一般而言，降低耕犁或不整地栽培增加多年生雜草之發生，但耕犁可能增加或減少雜草幼苗之密度。對不同物種而言，耕犁之效果亦不同。利用降低耕犁或不整地栽培，雜草相之變遷為多年生單子葉及雙子葉植物會增加，尤其是多年生單子葉雜草且具地下及地上走莖者，會成為作物生長之最大威脅。

(二)利與弊

根據 Phillips (1979)推論，最少耕犁及不整地栽培之優點如下：(1)土壤沖蝕減緩；(2)易沖蝕土壤之土地利用可因而增加；(3)減少能源投入栽培操作；(4)土壤擠壓現象減少；(5)土壤溼度不再如裸露土壤易於降低而成為作物種子萌芽之限制；(6)灌溉需求減少因為土壤表面蒸散作用降低；及(7)土壤準備所需之動力減少，且機械設備成本降低。

Akobundu (1982)指出降低或不整地耕犁之缺點如下：(1)平均土壤溫度較低，因此往往使春季種植及作物萌芽延緩；(2)昆蟲病害問題增加，因此仍有植物殘體存留於土壤之表面；(3)此類生產需較高度及複雜之生產管理。此類操作

表 7. 不同栽培系統之產量與生產成本(摘自 Klein 1988)。

作物	耕犁	平均產量 (蒲氏爾/英畝)	生產成本 (＄U.S/蒲氏爾)
小麥	圓碟耕	37	3.88
小麥	最少耕犁	45	3.30
高粱	傳統式	40	3.09
高粱	生態式減低耕犁	65	2.42
玉米	傳統式+灌溉	140	2.59
玉米	生態式減低耕犁	65	2.52

應注意事項包括：(A)肥料需求及施肥方式異於傳統，(B)作物之建立因殘體之存在可能較困難，(C)灌溉方式需改變，(D)雜草抑制是必須之操作且隨物種而異，以及(E)選擇合適之除草劑種類。

雖有上述缺點，美國不整地栽培面積在 1972 到 1980 期間由 10.6 增加至 32.9 百萬畝。雜草種子掩埋之試驗結果顯示，轉換傳統耕犁至降低或不整地栽培，並無法去除雜草管理操作之需求。此種需求於生產作物時仍會持續存在，但雜草相會隨著耕犁系統之改變而變動，當耕犁操作減少時，多年生雜草會侵入作物田間，其成活期較長。另外，少量適應不整地栽培之一年生雜草仍會存在。

五、非農耕地雜草管理

非農耕地之雜草植生管理，包括很多非農作性及非水生性情況，主要之區域包括森林、鐵道、公路週邊、水利地等。很多此類之區域，須經常進行全部植生之控制，尤以經常性之雜草管理為較可行且實際之作法。植生之控制可利用機械及化學之方式進行，有時二者一併使用。主要之方式，首先利用機械方式移除部分植株，再以除草劑之施用以全面清除雜草。

此項工作於年度間可能須重複多次，以維持無雜草之環境。利用化學藥劑防除，主要之方法有葉面及土壤施用兩種方式，所使用之除草劑多為非選擇性(接觸型或系統吸收型)可維持長期效果者，常用之藥劑如表 8。雖然此類藥劑中亦有部分為選擇性之藥劑，但其使用之藥量均較施用於一般作物田間為重且有效期較長。為達到雜草防除之較佳效用，土壤施用藥劑須滲入土內根系中，以阻止雜草種子之萌芽，因此其施用多於兩季中或播種前。臺灣常見之非農耕地之雜草，主要為蔓生及叢生草本，如狗牙根、地毯草、兩耳草、孟仁草、天竺草、芝草、白茅、昭和草、鬼針草等，及多年生小灌木，如蓖麻、合萌、構樹等。

六、結語

耕犁整地之操作改變土壤物理特性，往往會使種子發芽之環境受到抑制而達到減少阻礙作物發育之效果。常見之耕犁方式包括傳統耕犁、最少耕犁、保留耕犁、畦式耕犁及生態農耕等。不同之耕犁方式及作物之栽培會影響雜草族群之組成。臺灣地區水稻、大豆、

表 8. 常用於非農耕地施用之除草劑(摘自 Thomas *et al.* 2002)。

土壤施用之除草劑	葉面施用之除草劑
bromacil、dicamba、diuron、imazapyr、metsulfuron、picloram、prometon、simazine、sodium chlorate、sulfometuron、tebuthiuron、prometon、simazine、sodium chlorate、sulfometuron、tebuthiuron	ametryn、amitrole、asulam、bromoxynil、dicamba、2,4-D、dichlorprop、diquat、fosamine、glyphosate、hexazinone、linuron、MSMA、paraquat、triclopyr

玉米及落花生栽培中，耕犁方式與雜草管理之關係及各作物田間常見雜草種類、化學防治方式等均於本章中進行介紹。非耕地管理下，以玉米田為例常見雜草多為馬唐屬及多年生禾本科草類而傳統耕犁則常見單年生莧科及藜科等植物。非農耕地之雜草管理多以全部植生之控制為主，常見之雜草為叢生及蔓生草本和多年生小灌木為主。

耕犁制度不同會影響雜草種子繁殖之環境，而於作物生產過程中形成不同雜草群落。耕犁頻度增加，常於田中產生單年生雜草，而保留或不整地栽培則常見多年生雜草或適應此類系統之單年生草類。不同之作物栽培，因作物之生長形態亦形成不同之雜草群落。作物生產之雜草管理應了解作物栽培之耕犁方式配合良好之藥劑防治以達最佳之雜草管理效果。

七、參考文獻

蔣慕琰。1985。水田雜草概觀：種類、生態及防治。植物保護學會會刊 28(4):339-355.

蔣永正、呂理燊。1987。臺灣玉米田草相及雜草防治。中華民國雜草學會會刊 8：1-13。

邱怡詮。1998。覆蓋作物覆蓋及不整地栽培對青割玉米產量之影響。碩士論文。國立臺灣大學。臺北市。

邱建中、鍾維榮。1996。第 27 章雜糧作物之雜草防除。p.264-274。殺草劑與雜草防除。中華民國雜草學會/臺中區農業改良場編印。

蔣慕琰。1998。水田雜草生態及防治。p.1-23。農委會農業藥物毒物試驗所專題報導。

植物保護手冊。2000。雜草防除。p.627-679。行政院農委會農業藥物毒物試驗所編印，臺中縣霧峰鄉。

張新軒。2001。從耕作土壤及雜草管理等談永續農業。科學農業。49：207-214。

邱怡詮、蔡文福。2002。田菁覆蓋對不整地栽培青割玉米雜草管理及產量的影響。中華民國雜草學會會刊 23(1):13-22。

蔣汝國。2003。農用紙蓆防除水田雜草之應用。臺南區農業改良場專訊 p.5-9。

Aldrich, R.J. 1984. Crop Production Practices and Weeds. *In*: Weed-Crop Ecology Principles in Weed Management. Breton Publislers, North Scituat, Massachusetts.

Akobundu, I.O. 1982. The status and effectiveness of no-tillage cropping at the Smallholder farmer level in the developing countries . Presented at the U.N./Food and Agric. Org. Expert Consulation on Weed management Strategies for the 1980s in the Less Developed Countries. FAO, Rome, Italy. 33pp.

Ball, D.A. and S.D. Miller. 1993. Cropping history, tillage, and herbage effects on weed flora composition in irrigated corn. Agron. J. 85:817-821.

Botto, J.F., A.L. Scopel, C.L. Ballare and R.A. Sanchez. 1998. The effect of light during and after soil cultivation with different tillage implements on weed seedling emergence. Weed Sci .46:351-357.

Fujsaka S., G. Escobar and E.J. Veneklaas. 2000. Weed fields and forest ;interactions between land use and the composition of plant communities in the Peruvian Amazon. Agric. Ecosystem Environ. 78(2):175-186.

Jantunen J. and K. Saarinen. 2002. Vegetation of uncultivated arable land under different management in Finnish and Russian.

Karelia.Agriculture, Ecosystems Environ. 92(2/3):225-233.

Klein, R.N., G.A. Wilson and R.G. Wilson. 1996. Ridge till, an intergrated weed management system. Weed Sci. 44:417-422.

Klein, R.N. 1988. Economics of winter wheat production. Nebraska Ecofarming Conf.12:4-47.

Liebman, M., F.A. Drummond, S. Corson and J.X. Zhang. 1996. Tillage and rotation crop effects on weed dynamics in potato production systems. Agron. J. 88:18-26.

Monaco, T.J., S.C. Weller and F.M. Ashton. 2002. Field crops Grown in Rows. p.413-443. *In*: Weed Science Principles and Practices. 4th ed. John Wiley and Sons, New York.

Monaco, T.J., S.C. Weller and F.M. Ashton. 2002.lndustrial Vegetation management. *In*: Weed Science Priuciples and Practices. p.565.

Phillips, S.H. 1979. No-tillage, past and present. p.1-6. *In*: No-tillage Research. R.E. Phillips, G.W. Thomas and R.L. Blevins, eds. Res. Rpt. and Rev., Univ. Kentucky, Lexington.

Swanton, C.J., A. Shres Tha, R.C. Roy, B.R. Ball-Coelho and S.Z. Knezevic. 1999. Effect of tillage systems, N, and cover crop on the composition of weed flora. Weed Sci. 47:454-461.

Zimdahl, R.L. 1999. Weed management Principles in Six Systems. *In*: Fundamentals of Weed Science. 2nd ed. Academic Press. San Diego, California.

第四章　雜草管理—
物理、化學、生物與綜合管理原理及做法

蔡竹固
國立嘉義大學生物科技研究所

一、前言

雜草管理以將雜草的危害降低至可接受的程度為其目的，運用栽培、物理、生物與化學等各種方法，調節雜草的生長環境，使其儘可能不適宜雜草的生存，來降低雜草的競爭力與生活力。在應用此一基本原理時，雜草管理工作者必須瞭解雜草的識別、生長習性、生理與生態等特性，以及有關除草劑方面的知識，例如除草劑之選擇性、作用機制與殘效問題等，方能有助於實際防除工作的了解與執行，以收事半功倍之效。

雜草管理方法因受種種不同外在環境因素之影響，雜草發生情形，以及其最終目的的不同，因而在執行手段上有所差異，大致上可以分為預防性(prevention)、防除性(control)和根除性(eradication)等三種防除方式。近來的證據顯示，農業操作例如改變耕作時間與種植方法、改變光線穿透作物植冠的樣式、及修正或減少耕作等方法都極具潛力，隨著採行策略的測試和改良，將可更成功地利用農業操作達到操縱雜草種子休眠與發芽的需求。無論任何情況，維持健康、有活力的作物是減輕由於雜草競爭的一個最重要的方法。針對庭園或農場擬定恰當雜草管理計畫，主要依據作物種類、耕地大小和過去曾經造成困擾的雜草種類，一個綜合管理計畫採用一些不同方法，對於過去常發生的雜草給予良好且長期性的管理。

一年生及二年雜草大都仰賴種子繁殖，對此類雜草的防除，時效上必須把握在其開花結實之前實施，方能收效。通常，幼苗期之細胞壁較薄，藥劑易於進入，同時，幼苗期之生育活動旺盛，各種生理作用進行頻繁。藥劑如於此時進入，易於與植物內部之生理反應起作用，達到干擾或阻礙生理反應之目的，所以化學除草劑之施用期以幼苗階段為佳。多年生雜草藉種子及營養器官繁殖，需要防除之器官有時深入地底，很難加以防除，如以物理或栽培方法，可逐步消耗其根部貯存的養分，使失去再度萌芽能力。至於施用除草劑的時期，也是在葉部光合作用之合成物質，向根部輸送時期為適當施藥期，如此除草劑方能隨同碳水化合物流轉至地下部，而

達殺死地下營養繁殖器官的目的。

除草劑的選擇性不僅存於作物與雜草之間，不同雜草種類間亦具有選擇性，長時期施用同類除草劑防除田間雜草，常易導致田間雜草群落，產生雜草生態上之轉變(ecological shift)，敏感性的雜草被撲滅，抵抗性的雜草因缺乏競爭的對象造成優勢生長。因此，往往形成雜草的單類生長，比原有的混合雜草群落更難防除。熱帶地區，植物生長茂盛，繁殖快速，尤其容易造成此種雜草相之改變。為避免雜草群落之不良轉變，以改善之耕種方法與輪作制度配合，利用數種有效的除草劑，實行除草劑輪流施用，或採用數種除草劑混合噴施，皆可預防或減緩雜草相不良影響。

二、雜草管理的概念

雜草防除是將雜草生長降低或減少到可接受的程度，只要考慮某方法對於雜草控制或去除的成效，而不在意其對於耕作系統甚至整個環境短期或長期的影響。任何一個防除措施，若無法有效預防後續的侵擾(infestation)，均屬不經濟且費時的作為。

反之，雜草管理主要著眼於環境，儘可能地採用各種不同方法或綜合採用不同方法，使不利於雜草生長。經由上述方法的作物－雜草相互關係的人為操作，使作物生長優於雜草。雜草管理的觀念適用於單一作物或是整個栽培制度(cropping system)。在單一作物或栽培制度的雜草種類是呈動態的(dynamic)，防除了某一種或某一類雜草，往往導致其他雜草的入侵，雜草也可能在某一防除方法長期採用之後，變得具有抗性。所以，雜草管理是預防、防除和根除的巧妙組合，在作物田間或環境中進行雜草的管理。

1940 年代以後，隨著除草劑的廣泛使用，其他的雜草防除方法相形偏廢。但由於某些除草劑所造成的環境和毒物學問題，抗性雜草的出現，傳統的雜草防除方法又再度受到重視。所以，一個成功的雜草管理計畫，斟酌各種作物的輪作制度，透過作物生產操作，增強對於雜草的競爭和生態壓力。並著眼於整個農場，而非僅是某一田區。

三、雜草的預防、防除與根除

雜草管理方法受到各種不同外在環境因素之影響，也因雜草發生情形及最終管理目的而異，因此執行所採用的手段亦有差別，大致上可以分為預防性、防除性和根除性等三種類型的防除方式(邱及鍾 1996, Aldrich and Kremer 1997, Ashton and Monaco 1991)。

預防性管理工作的重心，乃在防止雜草的入侵與散佈，此一方法如行之徹底，收效顯著。不但可減少新的雜草種類之引進，而且對已存在的雜草，亦可透過其他雜草防除法，減輕其為害程度，而逐漸減少為害雜草的種類與數量。預防法花費不高，且簡單易行，合乎經濟原則，頗受世界各國之重視。此項工作之預防重於治療，如能有效的執行預防性工作，將可大大節省雜草之防除費用。

防除性雜草管理工作乃針對田間已發生之雜草，採用各種方法將其清(殺)

除或抑制其生長，使雜草的為害程度降低，不影響農業生產的經濟效益。至於將田間所有的雜草剷除乾淨，不但費用可觀，且很難執行徹底，所以目前農民常用之雜草管理方法，大都屬於防除性的雜草管理。只要將雜草密度降低至不影響農業生產經濟效益，就算達到防除的目的。

根除是將某些類別雜草，自一特定地點完全清除。採取本法之對象大都屬於新近引進的雜草，或者是有毒的及為害甚烈的特殊雜草。就執行上而言，根除法耗費的財力、物力甚大，且不易收到預期的效果，雜草完全清除後，尚須時時注意防範，以免其再度侵入為害。有時尚須配合政府的行政力量，強制執行方易收效。對小面積發生的特殊雜草，進行根除，可不必考慮費用問題。必須在雜草蔓延之前，把握時間進行徹底根除為原則，一旦雜草蔓延甚廣，則需擬定詳盡的根除計畫，考慮費用支出，逐步推動為上策。

雜草管理的主要目標，乃在利用各種管理方法，抑制或降低雜草的危害程度，儘可能的使其不致影響農業生產，以符合人類的利益。在雜草管理上所用的方法有：

1. 預防性雜草防除法：雜草衛生、檢疫法規、純淨的商業種子等方法。
2. 栽培性雜草防除法：輪作、栽培競爭性作物。
3. 機械性雜草防除法：拔除、剷鋤、耕作、淹水、燒燬等。
4. 化學性雜草防除法：利用化學藥品或除草劑。
   (1)選擇性除草劑(selective herbicides)：選擇性的除草劑是可以清(殺)除或抑制一種或多種植物之生長，但是其他的植物因具有耐藥能力仍可生長良好。
   (2)非選擇性除草劑(non-selective herbicides)：巴拉刈(paraquat)和嘉磷塞(glyphosate)為非選擇性除草劑，清(殺)除被接觸的雜草。
5. 生物性雜草防除法：利用草食性生物、昆蟲或病原等。

四、傳統的雜草管理方法

(一)雜草預防(weed prevention)

據美國農部 1985 年調查，指出 50-60%的主要雜草來自國外，同樣的情形，亦發生於世界上之其他地區。國內之行政院農業委員會動植物防疫檢疫局(2002) 指出小花蔓澤蘭 (*Mikania micrantha* H.B.K.)原產巴拉圭等熱帶美洲地區，在臺灣蔓延危害面積已廣及 17 個縣市、130 個鄉鎮農地，發生總面積達到 13,206 公頃。十多年前僅於屏東地區出現，現今已危害至中北部等地區，其危害範圍正逐年增加中，小花蔓澤蘭之防除更是刻不容緩。所以，防止雜草之入侵，在雜草防除上佔相當重要的地位。預防性的雜草經營與管理工作，主要在防止雜草由一地傳播至另一地，通常所用之法有三：(1)雜草衛生法(weed sanitation)，(2)法規法，及(3)種子檢查制度(seed certification system)等。

雜草衛生法之範圍甚廣，包括利用農耕作業方式，如提早或延後種植期，肥料及水之管理、輪作等，以減少雜草

種子的生產或降低其競爭力。使用無雜草種子的作物種子，清理農耕機械，運輸工具，清除灌排水系統旁之雜草，均可減少雜草散佈的機會。作物收穫後，注意調製工作，使各項農產品內之雜草種子數減至最低之可能，均屬預防性雜草防除方法範圍(邱及鍾 1996)。

雜草預防計畫的成功因雜草種類及人們投入的程度而影響其有效性，若是屬於繁殖力、傳播力強，能夠休眠且保有活力的雜草種類，根除的成效往往不佳。

1.清潔種子(weed-free crop seeds)

雜草種子混雜在作物種子內，隨著作物種子散佈至全球各地，為雜草自原產地傳播至各地之主要途徑。所以，制定種種法規以限制這種傳播過程，實屬必要。大部份作物種子都會混有雜草種子，主要是發生在採收時，一些雜草的生活史類似於作物，和作物種子同時成熟。此外，有些雜草種子形狀、大小與作物相似。即使是只有 1%或更少的雜草種子混雜在內，也會對作物生產造成有害的影響。

2.雜草法規(weed laws)

目前世界各國所定之各項法規可歸類為種子法(seed laws)、雜草防除法(seed control laws)及檢疫法(quarantine laws)等三種。制定雜草法規可以保障農民免於使用標示不明或污染的種子，且可嚴令禁止有害雜草(noxious weeds)經由種子或其他繁殖器官的入侵。

3.種子檢查(seed certification)

種子繁殖及檢查制度目的在於保持種子之純度、發芽率，臺灣地區之水稻種子三級繁殖制度及其他作物之種子的生產、繁殖與銷售制度的建立，對保障農民權益，病蟲害及雜草防除工作上，都有良好成效。我國現行與植物健康種苗相關之法規，包括「植物防疫檢疫法」、「植物品種及種苗法」及兩者之相關子法，以及「臺灣地區農作物種苗檢查須知」等行政規則。以淨度分析(purity analysis)來檢驗是否含有任何其他作物及雜草之種子。

4.檢疫法規

大部份國家有適當的法規可直接用於雜草預防、防除、根除的工作上，即使有些國家無適當的與雜草有關的法條，但在其機場或港口，仍有檢疫法規可為依據，以防止雜草或其他動植病蟲害之引入。雖然因各地之環境與作物之不同，其內容可能略有出入，但其基本目的則是一樣。又為了有效執行是項工作，各國均設有種子或相關檢查機構，負責本項工作之執行。依據我國植物防疫檢疫法第三條所稱有害生物，指直接或間接加害植物之生物，包括有寄生性植物、雜草等有害生物種類。

雖然各種預防性的雜草防除法，為大家所了解，為了加強認識起見，特將一般應注意者，列出於下：

(1) 使用不含雜草種子的清潔作物種子。由於種子大小、重量、形狀、表面積、比重、黏性、突出物、質地、顏色等的差異，可以採用分離器(air-screen cleaner, separators)等將雜草種子與作物種子分開。
(2) 各種飼料中所含之雜草種子需先清除(殺死)，然後再供餵食之用。

(3) 不用含有雜草種子之堆廄肥，或先消除其發芽力再用。
(4) 避免家畜、家禽從雜草叢生處直接走入無草之區域或農田。
(5) 各種農具或運輸器材由雜草感染區經過後，需徹底清除所攜帶之雜草種子或其他繁殖器官。
(6) 避免利用雜草感染區之土壤。
(7) 徹底清除砧木，移植苗所攜帶之雜草種子或其他繁殖器官。
(8) 定期清除灌、排水管道上之雜草。
(9) 保持籬笆、農路、鐵道和其他未耕種地區之清潔，定期清除雜草。
(10) 防止雜草之再度入侵、繁殖。

(二)雜草侵入後的管理(post-infested weed management)

當雜草侵入某一地區之後，可以採用防除或根除的方法，當該雜草存在會造成耕作困難且不經濟，或為阻止蔓延至新地區時，可考慮採用根除方法去殺死植株且破壞所有繁殖器官的活力。若是多年生的雜草，由於其地下繁殖構造或種子休眠性，根除工作必須持續許多年。若是該雜草已經廣泛分佈，很難經濟且有效根除時，只好退而求其次，採用防除的方法。一個防除計畫，可讓農民即使在雜草存在的情況下，能夠獲致作物生產利潤。雜草防除之目的乃在於降低或清除(殺死)雜草個體生長和其繁殖體，達到不會嚴重影響該農地的經濟使用。持續性發生的雜草很少被消滅，但當其生長受到抑制，作物就能有正常的產量。由於大量的雜草種子埋在土壤中，排除了根除的可能性，相形之下，防除措施較為可行且經濟(蔣等 1995, Flint 1990)。

1.人工方法(manual methods)

栽植早期常依靠人工拔草、或搭配手拿工具除草。惟人工除草尚需考慮勞力是否便宜及充足，且在複種指數高的耕種制度之下，沒有足夠的期間可供採行人工除草。

(1)人工拔草(hand weeding)

拔草是一種相當有效的除草方法，須在雜草開花結果前實施。常用於家庭園藝或其他無法以工具除草場合，或者雜草發生十分零散，無法以除草劑或機械進行除草作業時，常以手拔除雜草植株。本法對一年或二年生雜草非常有效，因地上部拔除後，留在土中部份大都無再生能力，但對多年生雜草，因留於土中之部份，具萌發新芽的能力，必須連根拔除或連續拔除至地下營養器官儲存的養分消耗殆盡為止。拔草前，最好能先行灌水，使土壤鬆軟，比較容易將雜草連根拔除，而且也比較省力。

(2)挖掘(digging)

主要針對多年生雜草，自較深土層中挖除其地下繁殖部位。人工拔草往往只是把近地面部分拔起，其餘殘留部位仍能再度生長。一般說來挖掘是耗費人力且緩慢的方法，只在其他機械、物理、化學方法無效、不可行、或不符合經濟效益時採行。

(3)鐵鍬除草(cheeling)

利用鏟或鍬(cheel hoe, spade)將雜草自地際部鏟除，本法適用於一或二年生雜草，因其不具有再生長的地下繁殖構造。在印度的茶園，普遍採用本法。

(4)割草及剪草(sickling and mowing)

以鐮刀或其他工具割除雜草之地上部，主要目的在防止雜草種子的產生，

常用於草坪、路旁、放牧地及水土涵養之坡地，長期而連續的割草亦可減弱多年生雜草之生長勢，而將其清(殺)除。割草的最佳時機在於葉片全面發育且值開花期，因為此時地下根部貯存物質含量最低。當雜草茂密不利噴藥時，先行割草至某一高度後再行噴藥，可以減少除草劑的施用量。

2.機械方法(mechanical methods)

利用機械或物理方法除草，已經在農耕過程被人類使用了數千年之久，雖然新近的化學除草劑提供了不可磨滅的貢獻，但本法仍然佔有重要的地位。即使是最現代化的除草技術，也無法排除其重要性，因而仍直接或間接被用於農耕作業中，以去除雜草。物理除草法運用得是否適宜，受雜草特性及外界環境因子影響甚大，必須對這些因素充分了解，才可收事半功倍之效。

(1)耕作(tillage)

耕作是一種實用而有效的田間除草方法，幾乎對各種雜草均有效。近期的試驗證明，耕作之主要功能在於清除田間雜草，鬆軟土壤以利植物根系發育為其次要功能。

表土翻耕可清除一些萌芽、生長的雜草，同時可將埋在土中之雜草種子翻至表面，促使它們發芽，經再次翻犁可達清除目的。淺根系之多年生雜草，耕作可將雜草清(殺)除。深根系之多年生雜草，因為農地無法長期荒廢不用，則無法多次連續翻犁以消耗其儲存養分，使其飢餓而死，因此，往往尚需配合其他雜草防除法例如除草劑之施用。

深耕大都以曳引機拖動各種犁、耙實施翻轉土壤，翻埋枯枝與雜草，許多雜草枝條及種子深埋土中後，失去生機，但具休眠性的種子，再度翻至土壤表層，仍具發芽為害的能力。深耕作業亦可抑制多年生雜草，以在多年生雜草養分儲存量最低時，效果最好，植株可因養分供應不足而無法萌芽生長。如能在深耕作業後，配合乾燥及曝曬，可將自種子發芽之一、二年生雜草及多年生雜草根莖殺死，收效更佳，曝曬時間得視土壤條件而定。深耕之後實施浸水作業，也頗為有效。

在除草劑被導入雜草防除之後，耕作的效果即與雜草防除無關，只是農業操作的一項而進行再評估，因而有保育性耕作、不整地(no tillage)、最少耕作(minimal tillage)、畦耕作(ridge tillage)、淺耕作(shallow tillage)等作業方式被提出。這些保育性耕作措施主要乃為了減少土壤沖蝕、地表逕流、減少耕種成本及提高淨收益。

(2)鋤草(hoeing)

用鋤頭、鐮刀等剷除雜草，通常適用於庭園、小面積的區塊，或雜草零散無法利用其他農耕機械及除草劑的場合，鋤草不失為一種方便且經濟的除草工具。在許多農業較為落後地區，鋤頭、鐮刀仍為主要的田間除草工具，尤其適用於作物條播栽培方式。剷除一、二年生雜草之地上部，可以達到完全清除的目的，可是對深入土層之多年生雜草的地下營養器官，效果不顯著。必須連續多次，方能消耗其儲存的養分。因多年生雜草萌芽後，幼苗之生長係賴根部供給養分，除草時期應延遲至碳水化合物由根部流出與葉部輸入平衡時為之，此一時期約在萌芽後 10-14 天左右。如此

連續進行數次，可將雜草根部碳水化合物消耗殆盡，使其失去再度萌芽能力。

(3)行間栽培(inter-row cultivation)

在保育性耕作措施中，配合行間栽培，可以減少 60%除草劑使用量，而仍能維持相同作物產量。

(4)生態休耕(ecofallow system)

生態休耕系統又稱為化學休耕系統(chemical fallow system)，是一種搭配以除草劑清除(殺死)雜草，減少耕作之作業。在多雨或少雨地區避免干擾地表殘株和土壤，以達到水土保持的效果。

(5)非現耕苗床(stale seedbed)

非現耕苗床乃指耕作作業並不是正好配合種植期之前，常在作物採收後或下期作前依據土壤水分和環境狀況進行耕作。雖然本作業方式的目標在於減少耕作次數，嚴格說起來並不屬於保育性耕作計畫。非現耕苗床仍能掌握種植期，且播種時能夠擁有已整地且並無雜草的田區。在美國，本作業方式特別適合於排水不良的黏質土壤所種植的水稻、玉米、棉花和大豆等作物。若非現耕苗床在作物播種時已長出雜草，則可施用葉面除草劑如嘉磷塞(glyphosate)、巴拉刈(paraquat)和固殺草(glufosinate)。就像其他減少耕作的系統，在長期的作業之後，產生多年生雜草問題，除了噴灑葉面除草劑之外，可以每四年採行一次深耕，以減少多年生雜草問題。

(6)火燒(burning)

高溫可導致細胞中之蛋白質凝固及酵素不活性，大部份植物細胞的致死溫度在 44-55℃。但乾燥種子之耐熱力強，不易致死，因而對土壤中雜草種子，此法較不具殺除力。常用方法為植物老熟乾枯後，放火燒燬，此法兼具殺除部分病蟲害之效果，但雜草種子落於田面或土壤裂縫，可避開燒死命運。火燄器可採用油或液態瓦斯為燃料，或噴射高溫蒸汽，常用於道路、溝渠、廣場之雜草清除，甚具功效。

(7)淹水(flooding)

長期淹水對許多雜草頗具功效，淹水最好能配合翻耕土壤一遍，浸水期以 3-8 週為宜，水深 5-30 公分，以不讓草長高過水面為宜。淹水可殺除許多旱地一年生或多年生雜草，但對浸於水中呈休眠態之雜草種子效果不彰。

(8)覆蓋(mulching)

利用不透光物質覆蓋土壤表面，使雜草無法獲得生長所必須的光線，因而抑制雜草生長。可利用的物質種類頗多，常用的為稻草及塑膠布二種，臺灣地區鳳梨栽培之塑膠布覆蓋，國外庭園花木栽培之樹皮覆蓋，均為此一原理之利用。表土覆蓋除了可抑制雜草生長外，尚可保持土壤水分，提高土壤溫度，如利用有機材料，還可提供土壤有機質含量，為一相當有效的雜草防除方法。此法適用於庭園花木栽培、果園、苗圃、菜園等經濟價值較高的作物栽培。

五、生態生理學的雜草管理方法

(一)光線(light)

雜草和作物植冠結構(canopy architecture)如株高、分枝位置、最大葉面積指數的高度等，決定光線的競爭和對產量的影響。例如番茄產量減少的程

度來自於東方龍葵(*Solanum ptycanthum*)的競爭影響大過於龍葵(*Solanum nigrum*)，乃由於前者株高大於後者。400-700 nm 可行光合作用的光輻射(photosynthetically active radiation)到達番茄冠層頂部的量與產量呈正相關，而與東方龍葵密度呈負相關(Radosevich *et al.* 1997, Rao 2000)。

(二)環境逆境(environmental stress)

當環境因子出現對於作物生長不利的影響，常使其無法達到最大生長量。同樣地，環境逆境也會影響雜草對於病蟲害感受性和相剋作用(alleopathy)之潛能。雜草種類、雜草與作物的空間分佈、生長期間等都是影響雜草和作物間競爭的生物性因子，也都會受到物理性環境或環境逆境的影響(Radosevich *et al.* 1997, Rao 2000)。

1.水分逆境(water stress)

作物和雜草對於水分利用效率、蒸散率、水分利用效能及水分逆境的反應之變異極大，因而影響二者間競爭能力。獲得水分的能力及忍受缺水的能力，決定其競爭的結果。比較玉米(C_4 植物)、高粱(C_4 植物)和八種雜草的競爭能力，結果玉米不論在何種土壤水分情況下，都有最大生物量。蒼耳(*Xanthium strumarium*)(C_3 植物)、稗草(*Echinochloa crus-galli*)(C_4 雜草)、馬唐(*Digitaria sanguinalis*)(C_4 雜草)在潮溼或灌溉區域的競爭力較強。地膚(*Kochia scoparia*)(C_4 雜草)和 *Salsola iberica*(C_4 雜草)則在乾旱區域競爭力最佳，而在潮溼地區最差。

水分逆境也會影響雜草對於作物競爭的關鍵期(critical period)，例如美洲豬草(*Ambrosia artemisiifolia*)對大豆競爭的關鍵期，在乾旱年份為二週，在潮溼年份則為四週。*Setaria faberi* 對於大豆產量降低的影響，在潮溼年份從出土後 10-15 天開始，在乾旱年份則延遲至第 25 天。

2.溫度逆境(temperature stress)

溫度逆境影響作物-雜草競爭，例如比較玉米和七種雙子葉雜草與溫度的關係，結果在日夜溫 18/12℃、24/18℃和 30/24℃時玉米的生長較佳。溫度對於植物相對生長速率(relative growth rate)的影響和其相對葉面積擴展速率(relative leaf area expansion rate)呈高度相關。以玉米、陸稻、落花生和大豆與雜草間的關係而言，在生育早期時的冷涼溫度較適合作物生長，到了後期的溫暖溫度，雜草生長較快，對作物的競爭也較大。所以，若能提早種植作物的時間，將可以增強作物對雜草的競爭力。

3.太陽能處理(soil solarization)

以透明塑膠布(厚度 0.025-0.050 mm)敷蓋在潮溼土壤，可以捕捉太陽光熱能，使土溫達到大部分雜草種子和幼苗的熱致死點(thermal death point)。土溫可提高 8-12℃，甚至土溫會超過 45℃。太陽能處理的效果主要集中在土表 5-12 cm，對較下層土壤的效果較差。對於大多數一年生雜草，必須要有五週的處理，而對於多年生雜草，必須至少處理達五個月。太陽能處理的實施必須在溫暖、潮溼且較強的光照，才能達到所需的土壤溫度。此外，太陽能處理仍僅採用在溫室栽培情況下，想要大面積使用，經濟及環保上的問題仍有待克服。

(三)二氧化碳(CO_2)

增加CO_2濃度對於C_3植物生長的影響較C_4植物來得大，由於許多主要雜草屬於C_4植物，而大多數作物為C_3植物，調整 CO_2 濃度將可改變作物-雜草競爭關係。將CO_2濃度從350 ppm增加到675 ppm，可以增加 C_3 大豆對於 C_4 強生草(*Sorghum halepense*)的競爭力，並降低強生草對大豆的競爭力；甚至於當土壤乾旱時才提高 CO_2 濃度，較有利於作物。不過由於全球 CO_2 濃度增加，造成全球暖化(溫度上升 2-3℃)，其所造成的間接影響(如乾旱增加、氣候不穩定)，遠大於直接對植物生理的影響。

六、控制營養的雜草管理方法

植物營養能夠促進作物生長，但雜草往往有較佳吸收營養的能力，反而增強其對作物的競爭，所以透過改變施肥的策略，可能同時減少雜草的危害，且增強作物的競爭能力(Radosevich *et al.* 1997, Rao 2000)。

雜草與作物對氮肥的競爭最大，當雜草密度低時，增加氮肥施用，可使作物生長和產量增加；但當雜草密度高時，施用多量氮肥，反而不利於作物的產量。高氮肥增加雜草競爭，主要由於雜草對營養的吸收增加且利用效率較高。

減少雜草競爭養分的策略如次：

1.施肥方法(application method)

肥料沿著作物行邊條施較撒施能夠減少雜草競爭。而且深層條施的效果較表層條施為佳，這是由於施肥深度剛好錯過雜草種子的位置。但若雜草根系較深時，則深層條施即不適用。

2.施肥時間(application time)

控制施肥時間可以改變作物-雜草對營養的競爭，傾向較有利於作物的生長。以小麥而言，僅在分蘗開始的三葉期(three-leaf stage)之前，需要較多量氮肥，所以小麥對氮肥的利用有效性偏低。反之，瑞士黑麥草(*Lolium rigidum*)能夠持續地分蘗，且受後期氮肥施用的促進。所以早期施用氮肥，能夠減少瑞士黑麥草對小麥的競爭效果。

3.替代性養分種類(alternative nutrient sources)

作物和雜草對於各種氮肥形式的反應和感受性不同，玉米和野莧(*Amaranthus retroflexus*)對於硝酸鹽和銨鹽有不同的反應，當施用銨態氮及硝化作用抑制劑，造成野莧葉片黃化及縐縮，枝條乾重量減少，總氮累積、鎂、蘋果酸和草醋酸游離量較硝酸態氮處理組增加。玉米則不論施用銨態或硝酸態氮皆不受影響。施用銨態氮對於銨敏感雜草植物巫草(*Striga* spp.)的防除有效，且能減少此氮肥從作物根圈逸失。由於巫草對銨態氮敏感，所以施用銨肥可以顯著減少玉米和高粱田中的巫草發生。

七、控制作物的雜草管理方法

依據作物所擁有的特性如株高、生長習性、植冠形成、葉片的方位、期間、適應性及活力等，針對雜草的缺點，充分利用作物的優點，本法又稱為耕種防除法，對於許多農民及雜草學家而言，一些的方法即使不知道確實的效果，已習慣性的採

用於雜草防除。利用栽培管理方法來達到抑制雜草生長的目的，最常用的方法有輪作與競爭作物等兩種方法。

(一) 競爭性作物及品種(competitive crops and cultivars)

競爭作物通常具快速之初期生長勢及植株高大，莖葉茂盛，具強覆蓋力，因而能與雜草競爭空氣、水分、養分、日光，而收抑制雜草之效果。一般常用的競爭作物有高大的牧草、向日葵、玉米、高粱、苜蓿、燕麥等作物。假如能配合耕作或其他除草措施與競爭作物之栽培，合併實施，效果更為明顯。對競爭作物之選擇尚必須考慮外界之氣候土壤環境，以期適地與適時適作，否則不易收效。

(二)輪作(crop rotation)

適當的輪作制度，能有效的利用土壤及氣候環境，增強作物之生長勢，因而亦增強作物對雜草之競爭力。同時，對作物之田間管理工作，諸如播種期、播種量、施肥、灌排水等作業，對養成健壯的作物非常重要。通常每種作物有其自身病蟲與雜草種類，利用輪作可減弱雜草對不同輪作物之適應性。故安排適宜之輪作制度，無論從作物生產或雜草防除的觀點而言，均屬有益無害。但在施用藥劑除草的場合，對於後作物之選擇，必須是對前作物施用之除草劑具有抵抗性者，否則會受前作物施用除草劑殘留土壤毒性之影響而受害。

(三)間作(inter-cropping)

間作主要著眼於土地最大利用及減低歉收風險，但也能夠顯著地抑制雜草生長。在有高粱間作的樹豆(pigeon pea)田中，較單作樹豆田間減少 10-75%的雜草生長。

(四)混作(companion cropping)

混作除了提供較佳的雜草競爭力，且能增土壤中有機質，降低土壤沖刷且改善水分的穿透。在高莖作物(如玉米、高粱、甘蔗和粟)、多年生作物(如茶、咖啡)和長期經營的園藝作物和樹木，豆類是很好的混作作物。在玉米田中混作豆類作物的試驗結果顯示，從不除草區且無耕犁田區的 1.6 ton ha^{-1} 產量，增加到無耕犁且混作豆類田區的 2.7 ton ha^{-1} 產量。在水稻田中長滿浮游蕨類滿江紅(*Azolla pinnata*)，則是另一種混作方式。

(五)種植密度(planting density)

經由提高播種率、縮短行株距等措施，增加種植密度，可提高作物對雜草的競爭性。高種植密度產生遮蔭效果，可以防止雜草種子發芽、出土和盤據。當三葉草的行距從 108 縮至 36 cm，或撒播的播種量從 0.33 增至 3.0 kg ha^{-1} 時，雜草乾重量也跟著減少。

八、促進雜草種子休眠及發芽

雜草種子休眠和發芽受到環境、土壤(edaphic)、生理和遺傳因子等複雜交互作用的調節。幾乎所有的耕種措施都會影響這些因子，主要是改變土壤中種子的生理環境，影響胚形成(embryogenesis) 和種子後熟 (seed ripening)。耕作措施也會透過影響種子數

量返回土壤或自土壤移除等情形，而改變雜草族群動態和組成(species composition)(Dyer 1995)。

(一)耕作(tillage practices)

耕作措施攪動土壤，常會促進雜草幼苗出土。減少雜草種子再返回土壤中，且促進雜草種子發芽，能夠降低雜草種子庫的大小。在許多年的耕作以刺激雜草種子發芽之後，其種子族群可降低至原先數量的 10%。不過，土壤中還是存在有可長期休眠的雜草種子，如何促進休眠種子發芽，將可解決此長期性雜草問題。

(二)化學促進劑(chemical stimulants)

能夠刺激活性和休眠性種子發芽的化合物，包括有植物生長調節劑(激勃素、細胞分裂素和乙烯)、植物生成物(strigol、fusicoccin)、呼吸作用抑制劑(azide、cyanide 及 hydroxylamine)、氧化劑(次氯酸鹽、氧)、氮化合物(硝酸鹽、亞硝酸及硫尿素)、有機溶劑(丙酮、乙醇、乙醚及氯仿)等。

1.乙烯(ethylene)

乙烯是控制巫草的重要方法，能夠刺激巫草種子發芽且減少土壤中休眠種子數量。在 20 cm 土壤深度，灌注 1.7 kg ha^{-1} 乙烯氣體，能夠降低土壤中休眠巫草族群 91%。乙烯氣體在土壤中可擴散至 90 公分深，120 公分寬；乙烯有效濃度可在土中維持 6 小時以上。在最佳狀況，接觸巫草種子達二小時，即可啟動發芽，再搭配萌後除草劑，可以有效防除巫草。不過乙烯處理對其他雜草種子的效果仍然有限。

2.硝酸鹽(nitrates)

硝酸鹽已知能夠促進許多雜草種子發芽，特別是搭配光線、寒溫(chilling)或變溫處理。在田間，硝酸銨能夠增加一些雜草，如野燕麥、芒稷(*Echinochloa colonum*)等發芽，但對其他雜草(如白藜、*Setaria faberi* 等)則不具效果。雖然硝酸鹽效果並非立即而明顯，但其長期效果包括有降低休眠性及減低雜草壽命。硝酸態氮肥除了做為作物肥料之外，也能夠刺激雜草種子發芽，進而降低雜草的競爭力。

3.疊氮化鈉(sodium azide)

疊氮化鈉是一種有氧呼吸抑制劑，已知能夠刺激雜草種子發芽。在土壤中加入 11.2 kg ha^{-1} 疊氮化鈉，能夠增加 4 倍的野燕麥幼苗出土率。由於疊氮化鈉很快就從土壤逸失，使用時必須深層且全面施用，且控制土壤水分，使其能夠在逸失前，快速和雜草種子作用。由於此藥劑也是一種誘變劑及殺菌劑，並不建議應用於環境中。

4.巫草醇(strigol)

巫草醇是一種棉花根部分泌物，在 10^{-2} M 濃度下，就能夠刺激巫草、列當(Broomrapes, *Orobanche* spp.)種子發芽。在土壤施用 0.3 - 4.5 kg ha^{-1}，巫草醇可在潮溼土壤殘留 21 天，且有足夠數量被淋溶到達 30 cm 深土壤，誘致巫草種子最大發芽率。

5.促進劑的有效利用(effective utilization of stimulants)

雖然化學促進劑能夠打破種子休眠且促進雜草種子發芽，但在田間的成功率，仍然受到許多因素的影響。

(1) 在發芽高峰期，將化學促進劑灌注土壤中，可使較多雜草種子發芽，而使得只有少數不發芽種子殘留土中。
(2) 在大量雜草種子處於非休眠狀態或其進入二次休眠之前施用化學促進劑，以夏季一年生雜草而言，促進劑應在低溫時期(晚冬)處理。以冬季一年生雜草而言，促進劑應在高溫期(晚夏或早秋)，於整地和種植作物之前施用。

九、生物性雜草管理方法

利用病原、昆蟲或其他生物對植物作生物防除，是自然界早已存在的現象，生物性雜草防除法是一種有效的、長期性的、無環境污染性的、且經濟性的雜草防除方法。可是它最大的缺點，萬一應用不慎，常會引進新的作物病蟲害，危害經濟作物的生產，其損失往往大於除草所得，因而雜草的生物防除，得經過週密的考慮與策劃，方可付諸實施，以免意外的損失。此外，生物防除法無法針對田間複雜雜草族群，進行全面的防除，僅能對一種或數種特定的雜草發生作用。而該雜草防除後之生態空隙，易為他類雜草填補，致使防除效果逐漸降低，是為另項缺點(李 1992, 陳及徐 1994)。

雜草生物防除法可利用之生物，種類繁多，包括病原、昆蟲、草食性動物等。從過去成功的例子，可以發現以應用昆蟲為最頻繁，例如夏威夷之馬纓丹(*Lantana camara*) 利用 *Crocidosema lantana*(蛾)及 *Agromyza lantana*(潛葉蠅)之幼蟲蛀食馬纓丹的花及果實。仙人掌(*Opuntia* spp.)原產美洲，達數百種，其中有 26 種被引進澳洲作為園藝植物。1839 年引進作籬笆的仙人掌(*Opuntia stricta*)由於擴展迅速，於 1880 年被視雜草。仙人掌生長茂盛，高出地面 1-2 公尺，行人難以通行。由於防除費用高昂，每公頃約需 25-100 美元，多被廢棄荒田。直到 1920 年從原產地引進其天敵仙人掌蛾(*Cactoblastis cactorum*)，才得以有效控制。

貫葉金絲桃(*Hypericum perforatum*)是一種有毒的多年生雜草，廣布於歐亞大陸。在過度放牧的草場上，牛羊喜食的草本植物減少，貫葉金絲桃成了重要危害雜草。當牲畜取食少量時，刺激口舌，降低食慾，大劑量則毒害致死。據報導，1904 年被帶入美國加州北部，到 1944 年，擴展到 80 萬公頃。用化學藥劑雖能殺死它，但耗資巨大。直到引進雙金葉甲蟲(*Chrysolina quadrigemina*)才得以控制。此葉甲的幼蟲在冬季啃食葉基，使其次春不能長葉，於是根不能貯存營養，3 年後在乾旱夏季中死亡。上述三例，都是以草食性昆蟲防除雜草成功之實例。

草食性家禽如鵝、火雞等，放飼於果園，可清除果樹底下的禾本科雜草。牛、羊類家畜亦可適合於某些特殊作物地區，以清除雜草。溝渠中之水生雜草，夏威夷曾於 1955 年自非洲引進福壽魚(*Tilapia mosaambica*)，放飼於灌排水渠，成功的清除溝渠中的雜草。如在美國加洲，利用黑芥(*Brassica nigra*)種植於牧野，能抑制矮橡樹種子的萌芽，是利用相剋物質來除草的成功實例。有關植物毒素之研究，目前甚受學術界的重

視，必能有所突破，成為有用的除草工具。

到目前為止，已經有許多種能除草的微生物病原體進入除草劑市場，或即將進入市場。還有十幾種目前仍在實驗室進行它們安全性的觀察。大多數利用做除草的微生物均為真菌(fungi)。不過有些地區，許多人也嚐試利用植物病毒、細菌、甚至線蟲來進行各種除草的實驗。

第一個通過科學及法規審查的病原性生物(pathogenic organism)約在 1980 的初期進入雜草生物防除劑市場。在全球生物性除草劑市場上具有先驅地位的真菌是 *Colletotrichum gloeosporioides* f.sp. *aeschynomene*(一種炭疽病菌)，其商品名稱為 Collego，用於防除野豌豆(northern joint vetch)。在以往，農民在耕作之前，均先採用一苯氧系除草劑(phenoxy herbicide)，主要除滅野豌豆。然而，此除草劑若使用不當，就會傷及水稻，甚至有時更傷及臨近田裡的棉花與大豆。相對的，Collego 這種真菌性除草劑(mycoherbicide)對作物就不具傷害性。使用這種藥劑雖然需要較長的時間才能看到效果，但效果可達 99%。因此若不求速效，本藥劑是一種很好的除草劑。另外，利用銹病菌(*Puccinia chondrillina*)可導致植物產生銹病的特性，也具有除草能力。例如在澳洲，他們引進這種病原，它可幫助澳洲農民防除由地中海傳入的骨骼草(*Chondrilla juncea*)。雖然這種真菌除草劑並不能根除骨骼草，但利用傳統除草劑及人工除草，所花費的費用遠比此法為高(TeBeest and Templeton 1985)。

其他已開發成功且商品化的真菌除草劑有 DeVine [真菌 *Phytophthora palmivora*，主要用於美國佛州柑桔園，防除 strangler vine (*Morrenia ordorata*)]、Casst [真菌 *Alternaria cassiae*，主要用大豆及花生田，防除鈍葉決明(sicklepod, *Cassia obtusifolia*)]、MYX-1200 [真菌 *Fusarium lateritium*，主要用棉花及大豆田，防除茼痲(velvetleaf, *Abutilon theophrasti*)]。真菌除草劑可單獨使用或與其他化學藥劑混合使用，可供雜草綜合管理之採行(鍾 1990)。

成功的生物性雜草防除工作，其成功的先決條件為(1)被防除的雜草，須為非本地原產，是由外地引進的，方可免受既存天敵之影響，破壞自然生態的平衡；(2)選用之防除原須在本地無自然天敵存在，以免防除原之族群無法昇高至足以抑制雜草族群之密度；(3)被防除之雜草須是週年生長者，方足以提供防除原之週年食料來源。至於防除原的選用，也需極為慎重，必須是絕對的單一食性，能快速自行繁殖及散佈，且不至於危害經濟作物者。

傳統生物性雜草防除原，一經釋放，能在自然界自行繁殖、散佈，可長期存在於自然環境中，不會消失。對農藥業者幾乎無利潤可言，未能引起業界的興趣，進展受到限制。但是，現代生物除草劑(bioherbicides)係利用自然界既存的生物，以人工在室內大量培養繁殖，田間施用如同化學除草劑，噴施接種於雜草植株上，以清(殺)除或抑制雜草的生長，甚為方便。

美國生物除草劑學者 Daniel *et al.* (1973)認為選擇性生物除草劑必須具備

的首要條件為(1)可以人工大量培養、繁殖；(2)可以噴施方法接種；(3)對寄主雜草具穩定而單一的為害性；(4)強環境適應性，不因環境改變而喪失有效性。此外，有些學者認為，尚需具備(1)低越冬生存力；(2)低再接種傳播力；(3)長接種時效與(4)低寄主抵抗性等次要條件。

雜草防除用生物製劑一直是發展較弱勢的一環，雜草防除仍以傳統農藥為主。台灣有關於生物性除草劑的研究並不多，Chiang *et al*. (1989)從事強生草的真菌性病原篩選及寄主範圍測試，施等(1994)進行以昆蟲防除布袋蓮之研究。因為生物除草劑的發展潛力極大，業者也認為有相當的利潤可追求，正多方面從事開發研究工作。陳等(2003)以小花蔓澤蘭為例，認為未來可從原產地尋找並引進天敵來加以防除，將其壓制在經濟危害水平之下。但與化學除草劑開發過程最大不同之點，乃因生物除草劑的危險性極高，稍一不慎，就能引起農業生產的重大災害，故政策上的限制較為嚴格，目前的情形，都由政府機構主動進行研究，或與業者合作開發，再將成果轉移於業者生產。

抗除草劑基因改造作物(genetically modified crops, GM crops)如玉米、棉花等，為生物科技應用在雜草防除上最為成功之實例，在減低傳統除草劑用量上極有裨益，但仍有民眾對基因改造作物抱持疑慮的態度。2003 年全球基因改造作物的種植面積估計為 6,770 萬公頃，全球基因改造作物種植面積的年成長率為 15%，持續第七年成長率(%)達兩位數。於 1996 年至 2003 年八年期間，具耐除草劑特性的基因改造作物仍是種植最多的基因改造作物。

十、化學性雜草管理方法

隨著 2,4-D 等有機除草劑的問世，在雜草防除上產生劃時代的革新，開創除草劑的新紀元。因其使用方便，效果好，普遍被農民採用，大量減少除草的人力與成本的支出，已成為現代農業栽培之主要除草方法。在許多先進國家，除草劑的銷售已超過殺菌劑，佔農藥銷售的第一位。至於除草劑的田間施用，可由施用時期與施用位置兩方面來討論(邱及鍾 1996)。

(一)施用時期

依據作物種植與否或萌芽與否，而分為植前、萌前或萌後等三種方法。

1.植前處理(preplant treatment)

在作物種植前及雜草萌芽前施用除草劑於土壤，其施用方式可分為植前土表處理(preplant soil surface treatment)和植前拌土處理(preplant soil incorporated treatment)兩種方式。植前土表處理最大的好處，是可避免耕作所造成的土壤壓實與土壤水分散失的不良副作用，而其不利因素則為易促成藥劑的流失或散失，縮短除草有效期間；植前拌土處理的優點與缺點正好與植前土表處理相反。

2.萌前處理(pre-emergence treatment)

在作物及雜草萌芽前施用除草劑，此一處理方式，亦可分為萌前土表處理及萌前拌土處理，通常為了減少作業成本支出，萌前土表處理常與播種工作合

併進行，一次完成施藥與播種。萌前拌土處理常用於易揮發或易光分解的除草劑，但實施拌土處理時，必須注意確實將藥劑混拌於雜草種子萌芽的土層，以收防除雜草之效。勿將藥劑混拌於作物種子分佈的土層，免得造成作物與藥劑接觸的機會，減弱選擇性，使作物產生藥害。

3.萌後處理(post-emergence treatment)

有兩種方式，一為作物萌後而雜草萌前的施藥處理，另一為作物及雜草均屬萌後的施藥處理。前者常用於果園等多年生作物，有時需配合特殊的施藥器具行拌土處理，以增強除草效果。而後者可行田間全面處理或局部的定點處理，因對田間發生的雜草種類與分佈情形有了事先了解，較易選擇有效的除草劑，用藥量方面，萌後處理亦可較植前或萌前處理為低，如 2,4-D 的用量，萌前處理約為 1.0 kg (a.i.) ha^{-1}，而萌後用量則為 0.5 kg (a.i.) ha^{-1}，可減少一半。

(二)施用位置

可分為全面或局部二種田間藥劑處理方式。

1.全面處理(broadcast application)

雖然仍採用傳統的全面田間藥劑處理方式，但在藥劑施用器具及方法上有所改善，許多新的施用方法與器具推出。如三福林(trifluralin)的底土施用，大為增加三福林對香附子的防除效果。空中噴藥能於短期間行大面積的田間施藥處理，herbigation 施藥法更將藥劑直接注入水中，藉水力量以散佈藥劑，不但適合於清除水渠雜草，且可更擴展至農藝作物，將雜草防除與水管理合併實施，均可大為降低雜草防除的成本。

2.局部處理(directed spot application)

僅對雜草發生的地方，行局部而直接的施藥處理，此一施藥方法的改善，不但大為減少藥劑的用量，且為許多非選擇性的除草劑，提供選擇性的用法。如嘉磷塞(glyphosate)之塗抹施藥法及循環施藥法，使得嘉磷塞可用於大豆及高粱田中，以防除許多高大的雜草植株。

十一、綜合性雜草管理方法

二次世界大戰之後，有鑒於殺蟲劑的大量使用，在昆蟲之防除上，先後發生諸如昆蟲的抗藥性，因而防除費用增加及環境污染等問題。昆蟲學家於是提出綜合性之蟲害防除工作，以謀求解決上述問題，此後，此一觀念仍逐漸擴展至病害及雜草之管理工作上。精準農業(precision agriculture)是當今世界農業發展的新潮流，在某特定農地上，配合各區的特殊情況，以最佳的科技，包括資訊的收集、分析、以及決策等，來釐定個別的土壤與作物管理方式。並且進行個別的耕作措施，以期達到資源的最佳利用，此種農耕技術稱為精準農業。精準農業理念係依照土壤性質及農作物生長之需要，給與適當的資源投入及處理措施，避免多餘的資源投入和對環境的破壞。實施精準農業的結果，將正面的改進農作物生產系統(包括雜草及病蟲害管理)的效率和不當環境污染，在環境保護、生態維護及經濟效益上得到最佳平衡(劉 2000)。

雜草族群是一複雜而動態的族群，

它們不但本身相互作用，並與作物、昆蟲及病害相互影響，而且在實施管理時，防除方法與成效易受外界環境之影響，也可影響所處環境。因而現代的雜草管理是運用物理、栽培、化學和生物的方法於一體，進行綜合性的防除，以最少的經費支出，獲致最大的防除效果。並對環境不利的影響降至最低，故有效的雜草管理方式得同時兼顧經濟性、生態性與社會性的影響在內。早期的雜草防除工作為非化學性的，包括清潔的種子、整地、耕作、火燒、浸水與輪作等方式，這些方法直到現在仍然被農民所採用，但其重視程度則隨農業機械化、除草劑之施用而日漸降低。但自能源危機、雜草相改變及環境污染等問題陸續發生之後，有機農業(organic farming)的實施，這些傳統的除草方法，又再度受人們所重視。

雜草綜合管理強調配合農業生態體系以管理或防除雜草，是兼具預防性、防除性及根除性的雜草管理功能，是整個農場管理體系中的一部份，非某單項作物或單一年度的雜草防除計畫而已，而是考慮整個農場長遠的及全面的經濟效益為著眼點。綜合性的雜草管理工作，可綜合利用高競爭性、豐產、適應性強的作物品種，配合適當的肥培及水分管理，形成適當的作物植冠，以促進作物的競爭力，抑制雜草的競爭作用。綜合管理作業應包括植前的田間整地、播種量與深度、行株距，也包括適時的中耕作業、作物的輪作制度、收穫調製、利用生物防除原、以及化學性的防除方法，更包括與病蟲害防治的配合等在內。現今作物栽培仍以除草劑為雜草防除的主體，但應再配合其他的雜草防除方法，使雜草管理更為可靠、有效與經濟，而且將對環境的不利影響降至最低。

十二、結語

「雜草管理」是指在雜草族群足以造成農作物經濟損失時，所採行的必要防除措施與策略。據此，在雜草危害尚未達到農作物經濟價值淨損失前，將必須及時採行因應對策，包括生物性與非生物性(理化)方法，以及人為耕作或處理等。如此，在不衝擊環境的前題下，適當的管制雜草族群數量以維持適度(可以接受的)的農作物生產。雜草防除工作需從作物損失、防除費用、危險程度，對耕種者及消費者的利益、環境與社會損益進行全盤評估後方能擬定有效的計畫，據以付諸實施。

臺灣高溫多濕，雜草種類繁多，尤其適合雜草週年生長，現行的農耕作業仍以雜草防除為主，在農藥使用控制上尚不盡人意，藥劑除草後所面臨之雜草種類變遷，除草效果漸減等問題，確實值得雜草科學研究學者專家持續予以重視。臺灣農藥之消耗量依臺灣區農藥同業工會 1994 年統計報告，顯示全省農藥消耗量除草劑約 3,400 公噸，佔第一位，雖然目前人類不能完全避免除草劑的使用，但低毒性及低用量的除草劑，將是未來除草劑研究發展的趨勢。

十三、參考文獻

全球商業化轉基因作物狀況。2003。http://gmo.doh.gov.tw/NewsIn.asp?id=200

40211150335491238#

行政院農業委員會動植物防疫檢疫局。2002。農地上小花蔓澤蘭調查結果及因應對策。http://www.phicroc.gov.tw/tpc/hotnews2002/20020313.htm

李文權 譯。1992。雜草的生物防除法。科學農業 40(3-4): 219-226。

邱建中、鍾維榮。1996。除草劑與雜草防除。中華民國雜草學會、台中區農業改良場，臺中縣霧峰鄉。311 pp.

陳曉望、徐慈鴻。1994。生物除草劑。中華民國雜草學會會刊 15: 95-99。

陳滄海、陳仁昭、汪慈慧、王均琍、趙永椿。2003。小花蔓澤蘭(*Mikania micrantha*)之生物防除。p.79-96。小花蔓澤蘭危害與管理研討會專刊。中華民國雜草學會出版，花蓮縣花蓮市。

施劍瑩、王前智、古德業、陳秋男、張弘毅。1994。布袋蓮之生物防除。中華民國雜草學會會刊 15:57-94。

劉天成。2000。我國精準農業的發展方向與策略。農政與農情，2000 年 1 月。

鍾維榮。1990。生物性除草劑介紹。農藥世界 86:36-39。

蔣慕琰、蔣永正、袁秋英、徐玲明。1995。雜草防除 p.317-334。林益昇、鄭清煥、高清文(主編)。台灣農家要覽，農作篇(三)植物保護。豐年社，臺北市。

Aldrich R.J. and R.J. Kremer. 1997. Principles in Weed Management. 2nd ed. Iowa State University Press, Ames. 455 pp.

Ashton F.M. and T.J. Monaco. 1991. Weed Science Principles and Practices. 3rd ed. John Wiely & Sons, New York. 466 pp.

Chiang M.Y., C.G.Van Dyke and K.J. Leonard. 1989. Evaluation of endemic foliar fungi for potential biological control of johnsongrass (*Sorghum halepense*): Screening and host rang tests. Plant Dis.73: 459-464.

Daniel, J.T., G.E. Templeton, R.J. Smith and W.T. Fox. 1973. Biological control of northern joint vetch in rice with an endemic fungal disease. Weed Sci. 21:302-307.

Dyer, W.E. 1995. Exploiting weed dormancy and germination requirements through agronomic practices. Weed Sci. 43: 498-503.

Flint, M.L. 1990. Chapter 6. Pests on the Garden and Small Farm. p.183-209. *In*: A Grower's Guide to Using Less Pesticide. Univ. of California, CA.

Radosevich, S., J. Holt and C. Ghersa. 1997. Weed Ecology: Implications for Vegetation Management. 2nd ed. Wiley, New York. 589pp.

Rao, V.S. 2000. Principles of Weed Science. 2nd ed. Science Publishers, New York. 555 pp.

TeBeest, D.O. and G.E. Templeton. 1985. Mycoherbicides: Progress in the biological control of weeds with plant pathogens. Plant Dis. 69: 6-10.

第五章　有機栽培體系之雜草管理

陳世雄、王淑敏
國立中興大學農藝學系

一、前言

未經馴化的植物通常稱「野生植物」或「野草」。「雜草」則是以人為利用觀點所定義的名詞，凡是對人們所栽種作物產量與品質有害的其他植物，或所謂生長不得其所的植物，均可視為雜草。雖然雜草有害於經濟、人和禽畜之處甚多，但在生態上也有不可或缺的重要性。

雜草與作物競爭空氣、水分、養分與陽光，導致作物產量與品質降低。養分競爭所造成之減產程度因雜草種類、數量、發生時期、作物品種及氣候環境條件，而有所差異。一般田間雜草實際造成減產率可高達 17-54%。適當防除雜草後，可提高作物產量 19 % (Furtick 1970)。雜草對農業生產不利之處包括：(1)降低作物產量：雜草奪取作物所需之水分、光線與土壤養分，導致作物產量降低。(2)降低農產品之品質：穀類若混有雜草種子，將顯著降低作物品質及價格。此外，乳牛食用混於牧地雜草如野蒜(wild garlic)、洋蓍草(yarrow)或歐洲菊苣(chicory)，將使乳品產生不良氣味，降低牛奶品質。(3)降低土地利用價值：雜草蔓延，特別是多年生雜草叢生，導致土地利用價值降低，栽培作物種類亦因雜草競爭而受到限制。(4)病蟲害潛伏之場所：雜草往往成為植物病菌、病毒、害蟲的中間寄主，提供繁殖庇護場所，增加為害作物機會及防治成本。(5)增加灌溉費用：生長於溝渠之雜草，嚴重影響灌溉水道功能，造成水資源浪費及管理不便。例如布袋蓮於灌溉溝渠內大量繁殖，造成渠道阻塞。(6)增加農業生產成本：耕作過程中，因防治雜草費用的支出，增加生產成本，降低生產效率。(7)增加肥料的消耗：雜草與作物競爭土壤養分，致使作物養分吸收不足，生育不良。(8)傷害家禽與家畜：家禽、家畜取食雜草中有毒草種，可能致病或死亡。例如刺莧(*Amaranthus spinosus* L.)植株含有皂素，牛隻食用過量可能發生臌脹症。(9)對人類健康之影響：雜草也對於人類造成影響，如美國豬草所引起之花粉熱(spring fever)。

有機栽培過程不允許使用任何化學農藥及肥料，病蟲害防治不易，雜草的防除更加困難。雜草防除在有機栽培體系中，實為不易克服之難題。根據估算，全球由雜草所引起的稻作產量和品質損失約為 10%(Smith 1983)。稻作面積為我國各作物之首，2000 年之栽培面積

332,183 公頃(行政院農業委員會 2001)。早期傳統之稻作栽培，除草完全依靠人力及簡單工具，形式有如有機栽培。70 年代晚期除草劑普遍使用，使稻作栽培在雜草防除上之艱辛大為降低。2000 年我國農藥使用量 39,597 公噸，其中除草劑使用量 15,687 公噸，佔 39.6%(行政院農業委員會 2001)。現代農業太過依賴農藥、化學肥料，導致地力衰退、農產品遭污染、水質惡化及生態不平衡等問題，威脅人類健康與生活環境。我國已於 2002 年加入世界貿易組織(World Trade Organization, WTO)，政府為因應我國加入 WTO 後，國外廉價農產品開放進口對國內農產品市場所帶來的衝擊，其中一項因應做法乃為推廣施行有機栽培。期以提昇國產農產品品質，生產高品質、無污染、無殘毒之農產品，使具有市場競爭力。國外有機農產品進口到我國時，在病蟲害的防疫檢疫上可能必須經過藥劑燻蒸或相關放射線處理，才准其進口，相關處理過的農產品已不符合我國有機農產品生產規範。相對的，也因此保障了國產有機農產品的競爭優勢。

有機栽培在栽培過程中不允許使用任何化學肥料及化學合成農藥(含除草劑、生長調節劑等)，係一種調和資源利用與生態平衡之農業生產方式，並且兼顧經濟利益和社會利益。有機栽培具有環境生態保育、有機質廢棄物再利用、水質源維護及土壤永續經營等多重意義，配合有機農業之耕作技術，包括雜草防除技術之研發，亟待配合進行。

二、雜草對生態及水土保持之功能

田面發生的雜草種類與數量，因氣候環境、作物種類及田間管理方式不同差異極大，如水、旱田主要雜草，因水分管理而有不同的草相。即使同為旱田之果園及蔬菜田草相，也因作物生育期的長短、植株形態及競爭力等因素，有明顯差異。另外，冬生型或夏生型雜草之季節性分布，也會形成區域特有的草相。我國一期作水稻整地前，在低溫環境下，田面會發生大量冬生型旱田雜草，如小葉灰藋 (*Chenopodium ficifolium*)、旱辣蓼 (*Polygonumla pathifolium*)、小葉碎米薺 (*Cardamine parviflora*) 等，二期作高溫則多為稗草及自生稻等禾本科雜草，顯示不同季節有不同的雜草相。

我國耕地常見的雜草，種類不下數百種，在農業上較重要的約有百餘種。根據調查統計結果，稻田已發現的雜草包括 41 科 145 種，其中以禾本科 23 種、莎草科 22 種、菊科 13 種為最多。稻田雜草大多為挺水型水生植物，即根部著生於土中，地上部枝葉大部份露出水面，如稗草(*Echinochloa crusgalli*)、螢藺(*Scirpus juncoides*)、球花蒿草(*Cyperus difformis*)、鴨舌草 (*Monochoria vaginalis*)、母草(*Lindernia pyxidaria*)、尖瓣花(*Sphenochola zeylanica*)及雲林莞草(*Scirpus planiculmis*)等。雜草種類常因期作或季節不同而異。臺灣一、二期作水稻生育初期氣溫差異大，期作間雜草分布亦大有差別。如野慈菇多發生於一期作，鴨舌草、紅骨草及尖瓣花則在二期作較多。地區間的雜草種類也有差異，乾殼草、水丁香、水蕨等在東部較常發生。喇叭草、竹葉草、穀精草、女

髮草、金魚藻等經常發生於北部。冬季休閒期間，鵝兒腸、旱辣蓼、芒稷較為常見。

雜草依生長習性，可歸類分為：(1)一年生雜草(annuals)、(2)二年生雜草(biennials)、(3)多年生雜草(perennials)、(4)水生草類(aquatic weeds)、(5)木本植物(woody plant)、(6)蔓藤植物(vines climbers and stranglers)、及(7)寄生植物(parasitic weeds)等七大類，分述如下。

1.一年生雜草

一年生雜草在一年生長季內可以完成一個世代或生活史。一般可區分為夏季一年生與冬季一年生。一年生雜草由於生活史短，繁殖迅速，族群龐大，佔雜草族群中絕大多數，主要賴種子繁殖。夏季一年生指生長過程在夏季，於冬季死亡；例如牛筋草。冬季一年生雜草則指發芽於秋季或早冬，經寒冬於晚春死亡；例如小葉灰藋。

2.二年生雜草

在兩年內完成生活史，僅見於溫帶地區。第一年種子發芽後只行營養生長，蓄積營養物質，植株成叢狀越冬。第二年始成熟產生種子後死亡。此類植物養分貯存於根部或莖部，亦以種子繁殖為主。

3.多年生雜草

此類雜草之生活史均在三年以上，第一年不產生種子，以後每年可產生種子，甚大比例賴營養器官繁殖。依營養繁殖器官之不同，可區分為三類：(1)簡單多年生草類：以種子繁殖為主，有時被切斷之營養器官，亦有繁殖能力。(2)球莖多年生草類：以種子、莖、地下球莖或塊根繁殖。(3)匍伏多年生草類：可分為淺根性如狗牙根，分佈於地底約 18-30 cm；深根性如禾草，根系分佈於較深的土層。由於此類雜草常賴營養器官繁殖，故對除草藥劑抵抗力甚強。

4.水生草類

又可區分為三類:

(1) 漂浮植物－生長於水面，隨水流漂浮，根不著地；例如青萍、布袋蓮、滿江紅等。
(2) 挺水植物－以根著生濕地湖沼，莖細長中空，莖葉大部分露出水面而漂浮；例如鴨舌草、野慈菇、水莧菜等。
(3) 沉水植物—完全或大部分沉沒水中之植物；例如水蘊草、金魚藻等。

5.木本植物

在放飼牲畜之天然牧場，此類植物若大量繁衍將嚴重危害牧草或茶園；例如茶園中之鵝掌柴(*Schefflera octophylla*)，大青(*Clerodendron cyrtophyllum*)等。

6.蔓藤植物

此類植物在荒地與山林地生長甚多，均屬多年生；例如蔗田中之貓牽牛(*Ipomoea hardwichii*)、果園之扛板歸(*Polygonum perfoliatum*)及其他旋花科雜草，為耕地常見之蔓藤植物。

7.寄生植物

荒野山林地之寄生性植物甚多；例如野菰在蔗根上發芽並吸取養分而生長，菟絲子及槲寄生則寄生於樹幹上。

地球上的物種繁多，不同的物種各司其所，扮演不同的角色，如生產者(植物)、消費者(動物)、清除者(昆蟲)及分解

者(微生物)。各種生物生長在同一棲地，形成一個生態系，例如草原生態系、紅樹林生態系及針葉林生態系等等，而地球生態系則是由不同生態系組成更為複雜的生態系。通常愈是複雜的生態系，因物種間的相生相剋而達到物種間的平衡和穩定。自然界的萬物因而趨向多樣化，百花爭鳴，鳥語花香，生生不息。在生態系中，雜草常是重要的生產者，也是動物昆蟲的主要食物來源。雜草在各種生態系的維持及組織，扮演極為重要角色。

臺灣民間有句俗話「一枝草、一點露」，其意義在於即使微小如一株小小的雜草，都有其堅毅的生命力，大自然也會不吝提供一滴露水，供其生長。小草也有固結土壤，防止沖刷的能力，因而使得自然界處處蘊藏生機。這句話更可以引伸到人類天生我才必有用，不可以自暴自棄的道理。一般情況下，人們對路邊的野花雜草並不重視，甚至有人希望除去而後快。耕地裡的雜草更令農人感到厭惡，主要因為田間雜草不利作物生長。但這些雜草若生長在山坡地上或乾旱地、鹽分地，甚至污染地，則對水土保持、淨化水資源、防風沙或生態維持將發揮重要的功能。這些雜草中或許擁有抗旱、抗鹽分或抗污染等重要基因，成為現今生物技術產業的重要資源。早期醫藥不發達，普遍利用存在於田野的雜草白茅之根熬湯，用以治療小孩麻疹之高燒。透過現代醫藥學分析，發現白茅根部中含有多種酚酸化合物，其中之一為水楊酸(salicylic acid)，為salicylin 的成分，而 salicylin 的商品名即是阿斯匹林(aspirin)。中草藥在中醫學上扮演重要地位，其中不乏被人們歸類為雜草之多種植物。雜草及其葉上液泌之露珠，生態上扮演吸引昆蟲及其天敵之角色，因此，「一枝草一點露」在生態上扮演極為重要的角色，千萬不要輕估雜草在生物多樣性及對生態的重要性。

總結來說，雜草對人類及生態環境提供下列利益：(1)雜草是野生草食性動物的主要食物來源，並作為牧場中牲畜之飼料。(2)有些雜草具有醫藥療效，例如節節花、滿天星、咸豐草、丁香蓼、水丁香、一條根、通天草等。(3)雜草可涵養水源、增強地力、覆蓋地表、水土保持、避免雨水沖刷，如百喜草、假儉草。(4)雜草可刈取製成堆肥作為有機肥，如滿江紅(*azolla*)能固定空氣中游離氮素。若種植於水田中，提高土壤之肥力，增加稻穀產量。(5)豆科雜草之根瘤菌具有固定空氣中氮素，也常可以用為綠肥作物。(6)雜草通常是土壤肥分及結構組織的指標。以及(7)雜草具有綠化環境、降低氣溫，減少溫室效應之功能。

三、雜草有機防除

土壤本身就是各種植物的種子庫，其中所含的雜草種子數量及種類極其繁多，對作物生育造成持續漸進的干擾。氣候環境、栽培作物的種類、整地耕犁的程度、土壤含水量及除草劑使用的種類與頻度，均會改變田區內雜草發生的種類與數量。通常在栽種作物的同時，許多雜草種子也已開始萌發，與作物競爭田間天然養分及人為提供的資源，完成生活史達到其種族衍續目的。

雜草藉其種子產量高及休眠期長之特性，具有很強的繁殖能力。雜草種子容易隨著灌溉水、栽培作物種苗之介

質、動物攜帶或風力等因素而快速擴散到其他地區，營養繁殖莖甚至會因整地時農機具的切割，而大量繁殖蔓延至全區。從雜草蔓延快速及競爭力強大之天賦，不難理解有機栽培體系，雜草防除的困難。人類為得到高產的利益，不惜大量使用除草劑，短時間似乎得到顯著的成效，長久以來，卻改變自然界原有之生態平衡，須花費更多時間及心力，去彌補所造成的缺失。吾人亟需建立生態平衡之「雜草管理」觀念，取代傳統「殺草、除草」之肅殺想法(蔣 2002)。

目前常用的非農藥雜草防除技術包括：(1)配合耕作制度之水旱田輪作、(2)增加耕犁次數、及(3)穀殼、稻桿或塑膠布敷蓋，後者可抑制田面雜草萌芽，用以降低田面雜草的發生及土壤中雜草種子量。此外，在果園維持低矮匍伏性雜草草生栽培，減少土壤水分蒸發，除具水土保持效益外，也可在適度管理下，降低雜草競爭力。如果能夠維護田區四周及灌溉溝渠之清潔，有助於減少有害種子及營養繁殖體的傳入。對於高危害潛力而防除困難的多年生雜草例如蔓澤蘭，於發現初期即應予以有效防除，降低危害程度。

(一)機械或物理性雜草防除

利用機械或物理方法除草，已在傳統農耕過程被人類應用數百年之久。雖然近數十年來研發的的化學除草劑提供現代化農耕重要的貢獻。但也造成生態上之重大浩劫。有機農業禁止使用化學除草劑，使得傳統除草方法仍有其重要性。

1.人工除草

實施有機農法，因不能使用除草劑，一般小面積栽培或其他機械無法進行除草作業時，常以人工除草方式行之。人工除草是一種相當有效的除草方法，但應在雜草開花結實前實施，避免種子再次掉落萌發。拔草前，先行適度灌溉，可使土壤鬆軟，或借用其他工具如小土鍬，較易將雜草連根拔除(圖 1)。

2.割草

以鐮刀或割草機，割除雜草之地上部，主要目的為防止雜草產生種子，降低種子庫之種子數量，常用於草坪、路旁、牧地及水土涵養之邊坡草地。長期連續的割草，可減弱多年生雜草之生長勢，使其生長變緩，以降低危害程度(圖 2)。

圖 1. 有機稻田利用人工除草(攝自興大農場)。

圖 2. 背負式割草機人工除草(攝自興大農場)。

3.淹水除草

長期淹水對許多旱田雜草頗具功效，淹水前配合翻耕土壤，有助於雜草根系裸露，易於進水腐爛。浸水期以 3-5 週，水深 5~30 公分，以不讓草長高過水面為宜。本法可防除旱地一年生或多年生雜草，如香附子。但對浸於水中呈休眠狀態之雜草種子，效果不佳(圖 3)。

4.火焰除草

於植物老熟乾枯後，放火燒燬，此法兼具殺除部份病蟲害之效果，但雜草種子往往掉落於田面或土壤裂縫，仍可逃避火燒之傷害。近期發展出之火焰器可用油或液態瓦斯為燃料，噴射火焰或噴射高溫蒸汽。常用於道路、溝渠、廣場之雜草防除，效果甚佳(Melander *et al*. 2002)(圖 4)。

5.敷蓋

利用不透光之物質敷蓋土壤表面，使雜草無法獲得陽光，可獲抑制雜草之效果。本法可資利用之資材種類頗多，常用的有稻桿、穀殼、蔗渣、花生殼及塑膠布等(圖 5 及圖 6)。我國鳳梨栽培常用塑膠布或有機資材敷蓋，茶園株間亦常用花生殼或豆粕類敷蓋(圖 7)，均為此一原理之應用。表土敷蓋除可抑制雜草生長外，尚有保持土壤水分，提昇土壤溫度之效果。若利用有機材料，還可提高土壤有機質含量，為一相當有效的雜草防治方法。水稻田也可利用穀殼、黃豆粉、米糠及再生紙等敷蓋控制雜草(圖 8 至圖 10)。蘇(2001)於中興大學農場進行有機稻田雜草防除田間試驗，試驗結果以紙膜敷蓋處理防治雜草效果最好，對雜草鮮重及乾重抑制效果均達 99%。敷蓋紙膜使土表透光度降低，有效控制水稻生育初期雜草生長。稻殼敷蓋處理抑制雜草效果較差，相較對照組，平均雜草鮮重及乾重分別減少 34.7%和 38.1%。原因可能是殘存不飽滿稻穀招來麻雀等鳥類啄食，鳥糞中夾帶雜草種子，導致

圖 3. 蔬菜田淹水處理(攝自興大農場)。

圖 4. 以火焰高溫燒死雜草幼苗(攝自興大農場)。

圖 5. 水稻田埂敷蓋塑膠布抑制雜草(攝自興大農場)。

雜草反而大量繁殖，對雜草抑制效果不彰(表 1)。

圖 6. 香蕉園敷蓋稻殼抑制雜草(攝自興大農場)。

表 1. 不同雜草控制方法對雜草生質量之影響(2000 年二期作，中興大學農場)。

處理	鮮重 g m^{-2}	乾重 g m^{-2}
對照區	1332.5 a	612.5 a
紙膜敷蓋	0.0 b	0.0 c
滿江紅敷蓋	390.0 ab	203.8 abc
穀殼敷蓋	982.5 ab	415.0 abc

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at α= 0.05 by Duncan's MRT. (摘自蘇 2001)

圖 7. 茶園利用花生殼及塑膠布抑制雜草(攝自名間鄉)。

圖 9. 田間施用米糠抑制雜草(攝自興大農場)。

圖 8. 有機稻田紙膜敷蓋抑制雜草(攝自興大農場)。

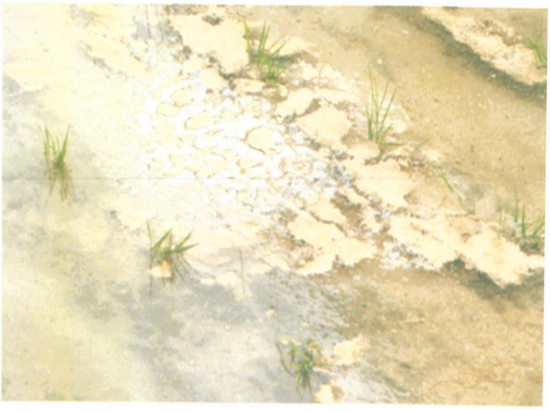

圖 10. 田間施用米糠抑制雜草(攝自興大農場)。

再生紙的顏色會影響雜草控制效果。以黑色再生紙對雜草控制效果比原色再生紙好，效果類似除草劑，主要在於其可完全阻隔光線穿透。

黃豆粉及米糠均為未發酵之生鮮有機資材，施到稻田遇水即發酵腐爛，發酵過程產生高溫，高溫的浸水缺氧環境使雜草種子無法萌芽。同時發酵過程也使水中氧氣不足，產生大量還原物質及毒害物質，造成水中及土壤中的氧化還原電位急速下降，使雜草種子缺氧無法萌發，雜草幼苗的根系也因而生育不良或死亡(中山等 2001，王 2003)。但施用過量的黃豆粉及米糠也會造成秧苗的傷害，甚至死亡(王 2003)。日本學者大場(2001)和中山等(2001)也指出米糠在水稻插秧後愈早施用，並配合插秧前多次的耕犁，對於雜草抑制效果愈好。

6.耕犁

耕犁主要功能之一在於清除田間雜草，鬆軟土壤以利植物根系發育，只為其功能之一。耕犁是一種實用且有效的田間除草方法，幾乎對各種雜草均有效。經由表土翻犁可以清除已萌芽之雜草，同時可將埋在土中之雜草種子翻至表面，促其萌發，經再次翻犁，即可達清除之目的。

7.不整地配合敷蓋

不整地栽培法多利用前作收穫後之作物殘體敷蓋田面，配合不整地或低整地耕作制度，可節省整地所需費用及人工，降低雜草管理費用，亦具有減少水分散失及防止土壤沖刷等優點。經過整地後，可將已萌發雜草翻除，同時也翻出土壤內埋藏之雜草種子至土表，於適當環境下萌芽生長，反而造成雜草萌生。一般不整地田間之雜草量較低，幾乎只為整地的一半。

(二)生物性防除雜草

病原菌、昆蟲或其他生物對植物進行攻擊，達到生物防除之結果，是自然界早已存在的現象。但是被利用為除草策略，則為近期之舉。雜草生物防除法是一種長期有效，對環境無污染之雜草防除方法。但最大缺點在於萬一使用不慎，可能會引起新的病蟲害，或直接危害經濟作物的生產，其損失可能難以估計。所以雜草的生物防除，需經過嚴密的評估與策劃，方可付諸實施，以免造成意外的損失。此外，生物防除法無法針對田間複雜的雜草族群，進行全面的防除，僅能對一種或數種特定雜草發生作用。此外，雜草防除後之生態空隙，易為他類雜草填補，導致防除效果降低，為另一項缺點(邱 1985)，因而在採行雜草防除策略時必須考慮此一現象。

1.飼鴨控制雜草

早期在我國農村，常見水稻二期作收穫後，稻田放飼鴨成群啄食田間掉落之稻穀、雜草種子、田螺、害蟲等，不但可促進鴨隻生育成長，也有助於改進土壤肥力。此種模式與近年來日本、韓國、越南、中國及我國推行水稻與鴨子共棲經營極為類似(王 2003)。此種經營模式可應用於水稻有機栽培，將水稻栽培與鴨子飼養結合，不但可達到完全無農藥、無化學肥料之有機耕作模式，維護農業永續經營的生產環境。

臺灣利用鴨稻共棲的耕作方式所生產之稻米稱為「合鴨米」。宜蘭縣礁溪鄉

黎明農牧場蕭龍城場長世代以鴨之育種為主要事業，並育成合鴨後，提供日本合鴨社之用，同時也更積極推廣合鴨應用方式，其中對水稻有機栽培田之應用，更是不遺餘力。合鴨是一種特殊的雜交鴨，其親本來源母本是番鴨與北京鴨之雜交後代，父本是正番鴨。鴨子具有好動與雜食的習性，飼養於水田，可以穿梭游動，啄食雜草與害蟲等。又鴨蹼攪動水田泥土，具有中耕作用，促進水稻之生育，同時其排泄物作為稻作之氮、磷、鉀及其他微量元素的補充，使得病蟲害和肥料問題可一舉解決。除了福壽螺、負泥蟲等較大體積害蟲由鴨直接啄食以外，蟲害密度大幅降低，使得蟲媒病害減少，病原菌可控制在極小量，進而降低病蟲害的發生機率。

在稻田裡飼養鴨子，能夠有效地控制雜草，降低雜草族群密度(Asano *et al*. 1999, Isobe *et al*. 1998, Kang *et al*. 1995, Kim *et al*. 1994, 王 2003)，主要在於鴨子覓食的過程，來回游走，攪混田水，混濁的田水使萌發的雜草幼苗，得不到陽光而無法生長，或使雜草種子無法萌發。加上鴨蹼每天踐踏，幾乎可以完全抑制插秧後萌發的雜草(Isobe *et al*. 1998)。一般而言，飼鴨可以減少稻田雜草族群 92% (Kang *et al*. 1995, Kim *et al*. 1994)，王(2003)則指出飼鴨可可抑制稻田雜草 99%。合鴨耕作制度下，對於雜草的抑制取決於合鴨的活動習性。合鴨的活力與雜草族群密度習習相關(Asano *et al*. 1999)。解剖合鴨發現其消化道內除雜草外，還有昆蟲殘體。可見稻田飼鴨不僅能有效控制雜草，對於稻株上的害蟲也會一併補食加以控制(圖 11 及圖 12)。

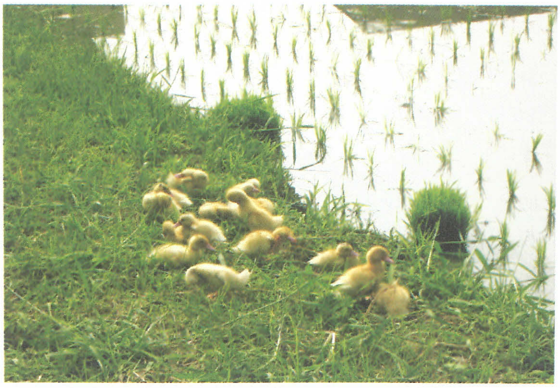

圖 11. **小鴨放飼田間(攝自興大農場)。**

圖 12. **鴨子在水田覓食遊走情形(攝自興大農場)。**

Asano *et al*. (1999)觀察到解剖鴨子胃內除飼料、小石子、砂土及雜草外，有昆蟲的殘體佔總食量的 0.2%。鴨子除食昆蟲外，還會把臺灣稻田最困擾且繁衍快速的福壽螺覓食乾淨(圖 13)。此外，合鴨若飼養密度較高，除啄食福壽螺為食物外，必須每天補充部份有機飼料。由於活動充足，稀有天然維生素不缺，因此鴨隻特別健壯，肌肉脂肪極低，鴨體不含任何藥物殘留。水稻抽穗前，為免鴨隻啄食稻穗，將鴨子趕至果園進行肥育，此鴨堪稱不折不扣的「有機鴨」(圖 14)，提高鴨價，如中興大學的有機鴨每隻售價即達三百元。由於沒有農藥的摧殘，整個生物體系得以完整復原，

又因無化學肥料施用，地力改善，更加速有機物的滋生，因此構成一個完整的生態體系。合鴨米的生產兼顧生產、生活、生態的「三生理想」，合鴨米不含農藥，不使用化學肥料，讓人和土地和諧共榮，可以進而發展永續經營的農業。

圖 13. 鴨子啄食福壽螺(攝自興大農場)。

圖 14. 有機果園之生態(攝自興大農場)。

2.滿江紅抑制雜草

滿江紅為浮游於水面之多年生水生蕨類植物，屬槐葉蘋目，滿江紅科，滿江紅屬。滿江紅屬目前已知有 6 個種，包括(1) *Azolla caroliniana* 分佈於北美洲及歐洲，(2) *A. filiculoides* 分佈於美洲及歐洲，(3) *A. mexicana* 分佈於中美洲及北美洲，(4) *A. microphylla* 分佈於南美洲，(5) *A. nilotica* 分佈於非洲，及(6) *A. pinnata* 分佈於亞洲、大洋洲及非洲。滿江紅在我國水田、池塘和沼澤等水域到處可見，主要生長於亞熱帶及熱帶，植體之大小依各品系之不同而異，植株之形狀亦依不同種而異。滿江紅莖著生根與葉，葉互生成羽狀排列，各葉分為上下兩片。上裂葉浮在水面有氣孔及同化組織，葉內側有許多黏液小穴，裡面有共生之固氮藍綠藻 *Anabaena azolla*，固氮藍綠藻同時具有光合與固氮的能力(簡等 1994, Becking 1979, Singh 1978)。

滿江紅之生長與增殖速度非常快，在接種後二星期，植體鮮重往往可增加為原來的 15~20 倍。當長滿水面後，能繼續以疊層(multiple layers)的方式增殖。溫室研究顯示，其疊層數在 45 天後為 4 層左右，但在田間繁殖較快，可達 5~6 層之間(李等 1981)。最適之生長環境為 pH 4.5~7.0，溫度為 15~30 (Watanabe 1977)。在適合之光照及溫度下其生長極為迅速，約 4 天可繁殖一倍，覆蓋性強，對水稻田雜草抑制有很好之效果，可替代除草劑之施用(圖 15)。我國古代即記載此種植物具有肥田之效果，明朝末年(17 世紀)之水田即曾加以利用。滿江紅係優良氮肥來源之一，其植體生長迅速且可與水稻共作，為水田優良綠肥作物之一 (Moore 1969, Rains and Talley 1979, Watanabe 1977)。

菱角田或蓮花田於浸水種植初期進行滿江紅之放養，亦可抑制雜草及剛毛藻之生長。稻田中接種滿江紅能增進稻田的肥力，提高產量，特別是氮素的提供(蘇 2001, 王 2003)。因此，滿江紅不僅能減少化學肥料的使用，並能增進土壤肥力(Wang *et al*. 1981)。

圖 15. 滿江紅覆蓋田面可以有效控制雜草(攝自興大農場)。

圖 16. 利用芋頭田進行滿江紅大量繁殖(攝自興大農場)。

插秧後隨即接種滿江紅，由於滿江紅生長快速，迅速覆蓋水面，抑制大部分雜草之萌生。蘇(2001)指出一期作水稻生育初期低溫，雜草種子萌芽慢，利用滿江紅迅速疊層覆蓋田面的特性，能有效地達到防治雜草效果。建議一期作滿江紅接種量每公頃 1 公噸可以有效控制雜草族群。二期作初期高溫，雜草種子萌發生長快速，因此建議增加滿江紅接種量每公頃 2 公噸，以促使滿江紅迅速疊層覆蓋田面達到抑制雜草效果。但是，利用滿江紅與水稻共作控制雜草必須事先繁殖足量之種源。林(1983)指出插秧前繁殖滿江紅 21 天，其鮮重由每公頃 0.75 公噸增加到 19 公噸，增加 25 倍。因此，蘇(2001)建議一、二期作每公頃必需分別以 0.03 及 0.06 公頃田地，於插秧前 3～4 星期，每平方公尺接種 100 公克滿江紅事先繁殖，以提供上述之建議接種量(圖 16)。Lee and Lin (1981)指出滿江紅抑制雜草之效果與施用「馬上除」除草劑 30 公斤相似，幾乎完全抑制稗草及球花蒿草之萌生，僅有少數之鴨舌草、螢藺，及紅骨草之生長。Moore (1969)及 Rains and Talley (1979)也指出滿江紅能抑制水田雜草之生長，王(2003)和蘇(2001)試驗結果與之相符。

滿江紅作為水田雜草之生物防除主角，在水田作物栽培上具有很高的實用價值。滿江紅蛋白質含量高達 35 %，且含多種不同的胺基酸成分，雞、鴨及豬嗜食之。將來亦可利用水田養殖滿江紅供為飼料，或滿江紅與水稻共作，當其長滿水面時，既可以抑制雜草之生長，又可當飼料讓鴨群覓食(Lumpkin and Plucknett 1980)。

雜草生物防除法可利用之生物種類繁多，包括病原菌、昆蟲、草食性動物等。昆蟲在雜草防除上的應用，主要是利用成蟲啃食莖葉或利用幼蟲危害根部或莖葉等，造成雜草生長不佳，繁殖力下降，減少雜草族群。如夏威夷之刺灌(*Lantanalcamara*)利用 *Crocidoema lantana* 蛾、*Agromyza lantana* 蠅及 *Thec laechion* 蝶等之幼蟲蛀食刺灌之花及果實；美國西海岸一帶，引進一種甲蟲(*Chrysolina* spp.)有效的清除牧場及路旁之地耳草(*Hypericum perforatum*)，都是以草食性昆蟲防除雜草成功之實例。草食性禽類如鵝、火雞等，放飼於果園，可清除果樹底

下雜草。中興大學農業試驗場有機果園養鵝來除草(圖 17)，僱工除草每天工資一千元，2 週後需重複一次，花費龐大，但一千元可購得 23 隻小鵝，天天自動協助除草，不必支付工錢，還會自行繁殖鵝群，鵝糞也是優良的有機肥，可謂一舉數得。牛、羊類家畜亦可適合於某些特殊作物地區，以清除雜草。如美國奧勒崗州的萊克奧斯維戈市附近有一處國家公園，因雜草叢生，地方政府利用羊隻吃草的天性，放養四百五十隻羊，擔任除草大軍，成效奇佳。開放羊吃草的園區有九畝之多，羊群胃口極佳，林地上 150 公分以下的植物，都被啃食一光，整體花費僅需二十二萬台幣，遠比人工除草便宜。日本近年也嘗試於水田中飼養鯉魚，可達防除雜草之效果。

圖 17. 果園中養鵝具有除草之功能(攝自興大農場)。

3.各種有機雜草防除方法之比較

王(2003)研究指出，有機稻田雜草控制方法間，以紙膜敷蓋處理防治雜草效果最好，對雜草鮮重及乾重抑制效果達 99 %以上(表 2)。飼鴨處理抑制雜草效果次之，相較於對照處理，雜草鮮重及乾重減少 99 %。煙燻稻殼敷蓋、米糠敷蓋及接種滿江紅處理抑制雜草效果也不錯，相較於對照組，雜草鮮重分別減少 92.8、85.7 及 80.6 %；雜草乾重分別減少 94.6、83.7 及 90.7 %。黃豆粉敷蓋處理抑制雜草效果最差，相較於對照組，雜草鮮重及乾重分別只減少 74.8 %及 65.7 %，但仍與對照區達顯著差異(表 2)。

黃豆粉每平方公尺施用 0.6 公斤及 0.9 公斤和米糠每平方公尺施用 1 公斤及 1.5 公斤處理，雖均無雜草發生，雜草防除效果佳，對雜草鮮重及乾重抑制效果達 99 %。但因施用量過高，也造成對水稻植株傷害，施用量愈高，危害愈為嚴重，甚至造成秧苗死亡(表 2)。高用量每平方公尺施用 1.5 公斤米糠，造成秧苗死亡高達 100 %，而黃豆粉每平方公尺施用 0.9 公斤，使秧苗的死亡率達 21.4 %。紙膜敷蓋雖能有效抑制雜草族群，但每公頃紙膜成本高達 4~5 萬元，對於水稻生產是否有其經濟效益，值得商榷。此外，紙膜製造過程添加之化學物質，以及製程排放之物質，均可能違反有機農業生產之規範，仍不適合有機農業之應用。

利用鴨子與水稻共作來控制雜草，能有效抑制雜草族群的繁衍，降低雜草與水稻競爭養分，且其排泄物更可供水稻生長所需之養分來源，因而提高水稻穗數，增加稻穀產量，稻穀產量每公頃更高達 5,700 公斤(表 3)。黃豆粉三個等級施用量處理，以低用量每平方公尺施用 0.3 公斤之稻穀產量最高，平均稻穀產量為 4,989 公斤，每平方公尺施用 0.9 公斤黃豆粉之產量較低，平均產量為 3,294 公斤，且隨施用量的增加，稻穀產量有下降的趨勢。米糠敷蓋處理也具有相同現象，隨著米糠施用量的增加，其稻穀產量亦隨之下降，以低用量每平方公尺施用 0.5 公斤處理之稻穀產量較高，平均稻穀產量為 2,839 公斤(表 3)。

表 2. 不同雜草控制方法對雜草生量之影響(2002 年二期作) (摘自王 2003)。

處理	kg m^{-2}	鮮重 g m^{-2}	乾重 g m^{-2}
對照區		1592.6 a	530.9 a
紙膜敷蓋		0.0 b	0.0 c
煙燻穀殼		115.4 b	28.6 c
滿江紅敷蓋		308.6 b	49.4 c
黃豆粉敷蓋	0.3	401.2 b	172.8 b
黃豆粉敷蓋	0.6	0.0 b	0.0 c
黃豆粉敷蓋	0.9	0.0 b	0.0 c
米糠敷蓋	0.5	228.4 b	86.4 bc
米糠敷蓋	1.0	0.0 b	0.0 c
米糠敷蓋	1.5	0.0 b	0.0 c
飼養鴨子		8.3 b	2.8 c

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at α= 0.05 by Duncan's MRT.

表 3. 不同雜草控制方法對水稻臺稉9 號產量及構成因素之影響(2002 年二期作) (摘自王 2003)。

處理	kg m^{-2}	株高 cm	穗數	穗長 cm	穗重 g	一穗粒數	千粒重 g	稔實率 %	產量 kg ha^{-1}
CK		93.9 b	12.8 d	17.5 c	1.76 b	79.2 ab	24.2 d	83.1 b	3011 efg
紙膜敷蓋		96.3 b	15.9 b	18.1 c	2.11 ab	82.5 ab	25.4 bc	85.6 ab	5267 ab
煙燻穀殼		94.9 b	14.7 bc	19.1 b	1.81 b	78.3 ab	25.5 b	82.1 b	4200 bcde
滿江紅敷蓋		94.3 b	14.7 bc	17.9 c	1.96 ab	85.4 ab	25.5 b	84.9 ab	4544 abcd
黃豆粉敷蓋	0.3	105.8 a	15.8 b	19.3 b	2.06 ab	81.9 ab	26.0 b	84.3 ab	4989 abc
黃豆粉敷蓋	0.6	105.7 a	13.6 cd	20.3 a	1.75 b	76.4 ab	24.1 d	82.1 b	3822 cdef
黃豆粉敷蓋	0.9	105.1 a	12.0 de	21.0 a	1.60 b	70.2 b	22.6 e	79.9 b	3294 defg
米糠敷蓋	0.5	105.3 a	13.6 cd	21.0 a	1.75 b	79.7 ab	26.0 b	84.1 ab	2839 fg
米糠敷蓋	1.0	104.8 a	10.9 e	20.3 a	1.74 b	74.0 b	24.3 cd	80.6 b	2100 g
米糠敷蓋	1.5	–[x]	–	–	–	–	–	–	–
鴨子		105.0 a	19.8 a	19.1 b	2.39 a	89.5 a	30.8 a	89.1 a	5729 a

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at α= 0.05 by Duncan's MRT.

[x]: Rice seedling were killed by fermentation of rice bran.

4.雜草控制方法對稻米品質之影響

水稻生育期間，不同的雜草控制方法，營造出不同的生長環境，除影響稻穀產量外，對於稻米的食味品質也可能造成影響。米飯食味之好壞主要由口感支配，而口感又是由米飯複雜的物理性來決定。就官能食味特性而言，白米直鏈澱粉及蛋白質含量、米飯之咀嚼性均與食味總

評呈顯著負相關，而白米之凝膠展延性、米飯之彈性、黏性、附著性、黏著性、食味結構指數則與食味總評呈顯著正相關(洪等 1989, 許及宋 1988)。雜草控制方法間之食味品評項目中，僅接種滿江紅處理之米飯硬度較軟，與其他各處理達顯著差異，其他各品評項目處理間皆未達顯著差異(圖 18)。整體而言，紙膜敷蓋、煙燻稻殼及接種滿江紅處理在米粒外觀有較佳的表現，飼鴨處理之米粒外觀較對照組差。紙膜敷蓋處理之米飯口味較佳，以米糠敷蓋及飼鴨處理之米飯較不具黏性，且硬度較高。在食味總評方面，飼鴨處理、每平方公尺施用米糠 0.5 公斤及黃豆粉 0.6 公斤，表現較對照組不理想。

黃豆粉三個等級施用量，以每平方公尺施用 0.6 公斤之米飯口味較對照組差，在黏性方面，則以較高用量每平方公尺施用黃豆粉 0.6 及 0.9 公斤處理的米飯黏性較低，且口感較硬，主要是因高用量之黃豆粉氮素含量過高所致。三個等級米糠施用量則以低用量每平方公尺施用 0.5 公斤之米飯口味表現較差，且較不具黏性，但在米飯硬度卻較軟，食味總評仍表現較差。

5.各種雜草防除方法之經濟效益分析

水稻有機栽培似乎是復古的耕作方式加上現代科技的結合，因此必需花費比一般化學栽培更多的人力、物力及成本。且初期稻穀收量常低於慣行栽培法，但連續施行有機栽培，產量可望呈穩定增加。有機稻穀因售價較高，可彌補減產的損失。

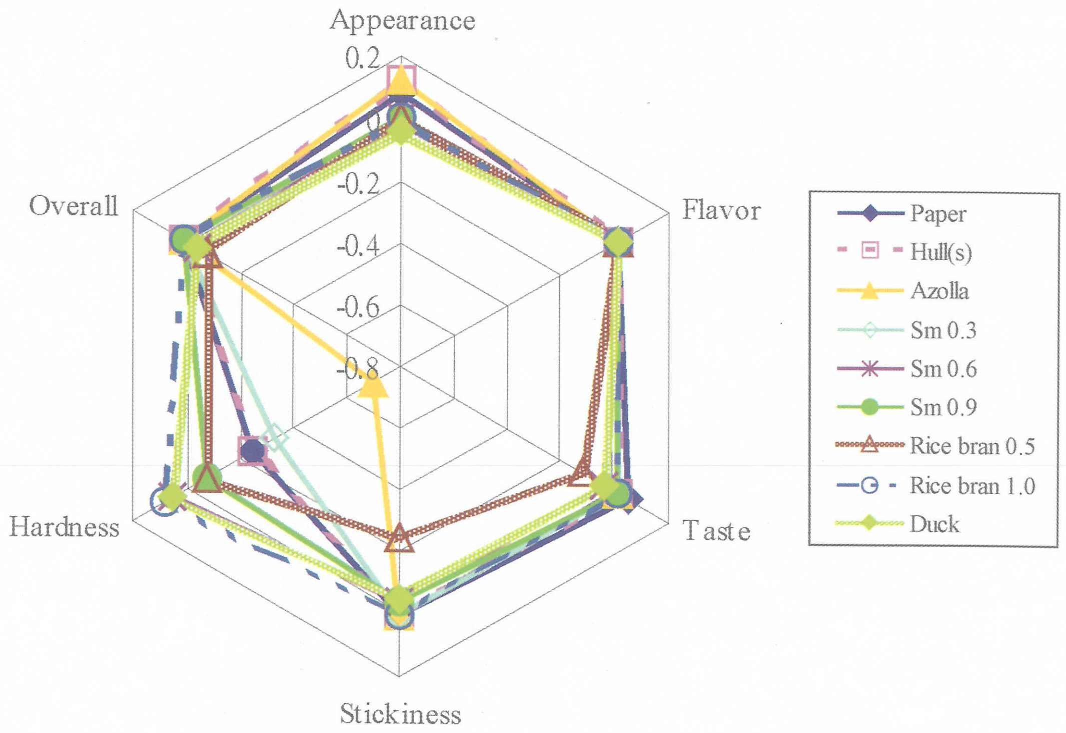

圖 18. 不同雜草控制方法對水稻台梗9 號米飯食味評鑑之影響(2002 年二期作) (摘自王 2003)。

王(2003)經濟成本效益分析指出，鴨子處理之雜草防治成本，包括購買幼鴨每隻 15 元，一公頃 200 隻幼鴨成本共需 3,000 元。飼料費用 7 公斤/隻×8.5 元/公斤×200 隻/公頃=11,900 元，合計飼鴨除草成本為 14,900 元。黃豆粉每公頃施用 3,000 公斤，黃豆粉市價每公斤 9 元，共需 27,000 元的成本。而米糠則每公頃施用 5,000 公斤，每公斤 4 元，合計 20,000 元。紙膜成本一卷 180 元(長×寬=100 公尺×1.3 公尺)，1 公頃需 85 卷，共計成本為 15,300 元。人工除草每公頃需花費 25 工作天，一天工資 1,000 元，人力成本共 25,000 元，使用除草劑每公頃需 1,300 元藥劑費用。

水稻生產過程除雜草防治成本外，還包括整地、插秧、施肥、福壽螺及病蟲害防治、收割、烘乾等人工費 42,000 元；有機肥料、秧苗、蘇力菌及苦茶粕等材料費 38,250 元，合計 80,250 元。

黃豆粉及米糠處理區節省 9,000 元之追肥成本，而慣行栽培區因使用化學合成肥料及農藥，所以其他生產成本僅花費 64,110 元。因此總生產成本支出依序為人工除草區＞黃豆粉區＞紙膜敷蓋區＞飼鴨區＞米糠區＞煙燻稻殼區、滿江紅區、對照區＞慣行栽培區。

目前有機稻穀市價每公斤為 32 元，而慣行栽培稻穀每公斤僅 18 元，以稻穀產量×稻穀市價可換算成稻穀產值。在飼養鴨子的處理，另有成鴨之收益，因此飼鴨處理的總產值包括稻穀產值 209,792 元及成鴨產值 60,000 元，合計產值達 269,792 元，總產值居各處理之冠。其次依序為黃豆粉處理＞養殖滿江紅＞人工除草＞紙膜敷蓋＞慣行栽培＞煙燻稻殼＞對照區，其中以對照區之總產值 87,808 元最低。將總產值減去總生產成本就可以得到總收益，以飼鴨處理之總收益 174,642 元最高，較對照組增加 22 倍，亦明顯比慣行農法提高 3.4 倍收益，其次依序為黃豆粉處理＞養殖滿江紅＞米糠處理＞慣行栽培＞人工除草＞紙膜敷蓋＞煙燻稻殼＞對照區。其中黃豆粉處理、接種滿江紅及米糠處理之總收益亦較慣行栽培高，分別提高 117、98.7 及 65.2 %。人工除草區之總產值雖較慣行栽培區高，但其人工除草成本就佔了 25,000 元，以致於總收益比慣行栽培差(表 4)。

綜合以上結果，就經濟效益而言，實行有機栽培以飼鴨處理之總收益最高，施用黃豆粉、養殖滿江紅及施用米糠也有不錯的表現，不但整體收益較慣行栽培區高出許多。對於整個生態環境的維護，農業的永續經營發展，更不能單以金錢價值來衡量，值得進一步加以推廣。

(三)耕作制度

1.利用輪作制度控制雜草

現代作物栽培方式，偏重周密的整地、肥料合理使用、病蟲害與雜草防除、及品種的改良等，雖可維持相當高之產量，卻往往忽略連作的危害。適當的輪作制度，經濟合理利用土壤養分及氣候環境，可防止病蟲害及雜草的發生，增強作物之生長勢及對雜草之競爭力。同時，諸如播種期、播種量、施肥、灌排水等田間管理作業，對養成健壯的作物亦極重要。

現代農業經營多採用單作栽培，對於雜草防除工作上有極大的缺點。作物生長初期，無法充分利用各種生存物

表 4. 有機稻田不同雜草控制方法之成本及效益分析(摘自王 2003)。

處理	除草成本	其他成本	總成本	產量	收入	附加收入	總收入	收益
	-----	-----	------	-----	NTD ha^{-1}	-----	------	------
紙膜敷蓋	15,300	80,250	95,550	4,066	130,112	0	130,112	34,562
黃豆粉敷蓋	27,000	71,250	98,250	5,789	185,248	0	185,248	86,998
米糠敷蓋	20,000	71,250	91,250	4,922	157,504	0	157,504	66,254
煙燻穀殼	0	80,250	80,250	3,022	96,704	0	96,704	16,454
滿江紅	0	80,250	80,250	5,000	160,000	0	160,000	79,750
鴨子	14,900	80,250	95,150	6,556	209,792	60,000	209,792	174,642
CK	0	80,250	80,250	2,744	87,808	0	87,808	7,558
人工除草	25,000	80,250	105,250	4,500	144,000	0	144,000	38,750
除草劑	1,300	64,110	65,410	5,865	105,570	0	105,570	40,160

質，尤其是生存空間，往往導致使雜草有機可乘，得以利用生態空隙(ecological hiatus)而成活，並進一步與作物產生競爭，有礙作物生產。

鄭(1997)指出稻田經七年輪作處理後，雙期作水田經轉作旱作，不論對土壤理化性或雜草相，均有重大影響。再恢復種植雙期作水稻，田間尖葉類雜草之發生不論第一、第二期作都是以連作水田發生量最高，第二期作尖葉類雜草之發生量高於第一期作。闊葉類雜草僅發生於連續旱田處理後之水稻第一期作。旱田連作處理後之二期作水稻，闊葉類雜草發生較少。所以水旱田的輪作制度，可明顯降低雜草種類。不同輪作制度後，土壤 pH 值亦有變化。土壤 pH 值的變化可能影響作物對養分吸收能力，改變土壤微生物相，因而影響病害之發生。水旱田狀態交互使用之土壤利用方式，土壤會因氧化還原狀態的改變，直接影響土壤養分之有效性，間接影響作物適應性及產量。更有學者指出，輪作制度會因作物種類及栽培方式之不同，使得雜草競爭壓力改變，造成雜草發生量與雜草相之改變(蔣及蔣 1983)。

2.草生栽培抑制雜草

臺灣地區果樹栽培面積廣達22萬公頃，生產區域涵蓋平地、坡地及高山。果樹多屬多年生，生育初期的管理，除施肥、灌溉、病蟲害防治及整枝疏果作業外，最主要為果園的雜草管理。由於果樹生育初期的樹相及群落密度無法覆蓋整個地面空間，形成雜草滋生，並與果樹生長產生競爭。有機果園雜草的管理，國內採行方法包括人工除草、覆蓋塑膠布或有機資材及草生抑草等(蔡 1983)。

近來果園利用地被植物覆蓋行草生栽培漸受重視(張 1996, 楊 1996)，發展方向包括原生禾草類的選留及多年生豆科綠肥引進試種。多年生豆科綠肥可兼作覆蓋作物，截阻雨點打擊，不僅抑制土壤沖蝕(王等 1975, 袁及蔣 1996, 張 1996)，同時防除雜草、降低管理成本及

增加土壤有機質(袁及蔣 1996, 張 1996, 黃 1978, Akobundu 1992)。覆蓋植物於根系枯死腐爛後，增加土壤的孔隙度，使土壤透氣性及雨水入滲率提高，改良土壤理化性質(陳等 1992, 陳 1979, Tate 1987, Williams *et al*. 1963)，緩和微氣候及地溫之變化(楊 1996, Akobundu 1992)。

有機栽培要求不能使用除草劑清除果園雜草，故於果園行株間保留自然草生或選擇性引入草類，加以適當管理。事實上，即使一般非有機栽培之果園，也可採行草生栽培。果園草生栽培可整年不必噴施除草劑，不但節省生產成本，果園也漸漸形成平衡的生態體系。果園草生栽培可防止表土沖蝕，增加保水力，增進土壤團粒構造、改善土壤理化性及有益微生物增殖(圖 19 及圖 20)。

四、結語

雜草綜合管理是整體自然資源管理的一環，除具有綜合防除雜草的目標外，農業生態環境、栽培制度與社會利益因素均會影響整個管理策略的成效，也是有機栽培體系雜草綜合管理必須考慮的要素。推動有機農業最終目標為達到農業的永續經營，因此利用覆蓋作物、草生栽培、敷蓋物、淹水、火燒及耕犁等方法，有助於減少農藥施用，研發不具污染環境資材，也是有機栽培之重點。當以上整合措施仍無法有效控制雜草時，便須以人工或機械來進行除草，確實做到除草時機之掌控，避免雜草開花結子，以絕後患。水稻有機栽培利用鴨子控制田間雜草，能有效抑制田間雜草族群，防除蟲害及螺害，增加養分的供給，提高稻穀產量，還能增加有機鴨的額外收入，提高農民收益。水田亦可利用滿江紅抑制雜草，且可增進稻田地力，減少化學肥料對環境和土壤的破壞。栽培上所使用之種子，盡量使用純潔未混雜雜草種子之高純度種子。有機肥經高溫發酵後，可將其中所含之雜草種子殺死，使其不具發芽能力。有機肥則使用經過充分發酵完全腐熟之有機肥，保持圍籬及農路的清潔，定期清除雜草，以防止雜草再度入侵及繁殖。

圖 19. 釋迦園草生栽培(攝自興大農場)。

圖 20. 梨樹園利用甘藷葉覆蓋抑制雜草生長(攝自東勢鎮)。

五、參考文獻

王淑敏。2003。利用鴨子控制有機稻田雜草之研究。國立中興大學農藝學系碩士論文。臺中市。

王孝才、張雙滿、程仲武、鄭慶生。1975。陡坡地果園覆蓋作物與敷蓋觀察。中華農學會報 新 91：69-75。

行政院農業委員會。2001。中華民國農業統計年報。臺北市。

李啟彰、林錫錦、林家棻。1981。水田滿江紅 *Azolla pinnata* 之研究 1. 環境因子對滿江紅生長之影響。中華農業研究 30: 405-411。

邱建中。1985。雜草防治原理與方法。臺中區農推專訊 38 期。

袁秋英、蔣慕琰。1996。除草劑對覆地植被及水土保育之影響。p.357-372。除草劑安全使用及草類利用管理研討會專刊。中華民國雜草學會出版，臺中縣霧峰鄉。

林錫錦。1983。水田滿江紅固氮之肥效及抑制稻田雜草之研究。中華農業研究 32:348-359。

洪梅珠、宋勳、劉慧瑛、林禮輝。1989。稻米理化性質之研究 .官能食味特性與米粒外貌及化學性質間相關之研究。臺中區農業改良場研究彙報 24：53-62。

張明賢。1996。果園草生栽培。p.183-189。臺灣熱帶地區果園經營管理研討會專刊。農委會高雄區農業改良場編印，屏東市。

陳明義、姜瑋秀、林信輝。1992。坡地果園自然覆蓋草類之選留。林業特刊第 42 號：110-120。

許愛娜、宋勳。1988。稻米食味與其理化性質關聯性之探討。p.91-104。稻米品質研討會專集。臺中區農業改良場編印，彰化縣大村鄉。

陳清茂。1979。覆蓋與敷蓋對坡地土壤物理性質之影響。國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。臺中市。

黃俊義。1978。覆蓋作物及敷蓋對坡地土壤肥力之影響。中華水土保持學報 9(2)：83-90。

楊秋忠。1996。草類與土壤肥力管理。109-115。除草劑安全使用與草類利用管理研討會專刊。中華民國雜草學會編印，臺中縣霧峰鄉。

鄭書杏。1997。不同輪作制度對土壤理化性及水田雜草相之影響。花蓮區農業改良場研究彙報 14:79-96。

蔡雲鵬。1983。果園雜草防治。中華民國雜草學會會刊 4(1): 76-79。

蔣永正。2002。有機栽培之雜草防治技術。行政院農業委員會農業試驗所特刊第 102 號。p.97-104。

蔣慕琰、蔣永正。1983。臺灣旱田雜草之種類、生態及危害。中華民國雜草協會會刊 4：31-40。

簡宣裕、林錫錦、林啟彰。1994。滿江紅與固氮藍綠藻之研究。p.71-85。微生物肥料之開發與利用研討會專刊。農委會農業試驗所，台中縣霧峰鄉。

蘇啟懷。2001。改進有機稻田雜草防治之研究。國立中興大學農藝學系碩士論文。臺中市。

大場伸一。2001。米糠散佈對水稻生長之影響。p.116-117。關東東海北陸農業研究成果情報。日本。

中山幸則、北野順一。2001。米糠對水田雜草除草效果。p.118-119。關東東海北陸農業研究成果情報。日本。

Asano, H., K. Isobe and Y. Tusboki. 1999. Eating habits and behaviour of Aigamo duck in paddy field. J. Weed Sci. Tech. 44：1-8.

Akobundu, I.O. 1992. Integrated weed management techniques to reduce soil degradation p. 278-288. *In*: Proceedings of the first International

Weed Control Congress. Weed Science Society of Victoria Inc., Australia.

Becking, J.H. 1979. Environmental requirements of *Azolla* for use in tropical rice production. p.345-375. *In:* Nitrogen and Rice. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.

Isobe, K., H. Asano and Y. Tsuboki. 1998. Effects of cultivation methods on the emergence of weeds and the growth and yield of paddy rice, with special reference of using Aigamo duck. Jpn. J. Crop Sci. 67:297-301.

Kang, Y.S., J.I. Kim and J.H. Park. 1995. Influence of rice-duck farming system on yield and quality of rice. Korean J. Crop Sci. 40:437-443.

Kim, H.D., J.S. Park, K.H. Bang, Y.C. Cho, K.Y. Park, K.C. Kwon and Y.D. Rhoe. 1994. Rice growth and yield response in a rice/duck farming system in paddy fields. Korean J. Crop Sci. 39: 339-347.

Lee, C.C. and C.J. Lin. 1981. The possibility of using *Azolla* as a source of nitrogen for rice in Taiwan. Soil Fertilizers Taiwan. 1981:35-43.

Lumpkin, T.A. and D.L. Plucknett. 1980. *Azolla*: botany, physiology and use as a green manure. Eco. Bot. 34: 111-153.

Melander, B., T. Heisel and M.H. Jørgensen. 2002. Band-steaming for intra-row weed control. p.11-13. *In*: 6th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control. 8-10 March 2004. Lillehammer, Norway. Hedmark University College/The Norwegian Crop Research Institute, Norway.

Moore, A.W. 1969. *Azolla*: biology and agronomic significance. Bot. Rev. 35: 17-34.

Rains, D.W. and S.N. Talley. 1979. Use of *Azolla* in North American. p.419-431. *In:* Nitrogen and Rice. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.

Smith, R.J. 1983. Weed of major economic importance in rice and yield losses due to weed competition. p.19-36. *In:* Weed Control in Rice. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.

Singh, P.K. 1978. First report on pests of the fern *Azolla* and their control. Sci. Culture 44:234-235.

Tate, R.L. 1987. Soil Organic Matter: Biological and Ecological Effects. John Wiley and Sons, New York. 304pp.

Wang, T.T., W.S. Kao and T.H. Chang. 1981. On *Azolla* culture to increase soil fertility in rice fields of Beijing. Acta Agriculture Universitatis Pekinensis 7:33-39.

Watanabe, I., C.R. Espinas, N.S. Berja and B.V. Alimagno. 1977. Utilization of the Azolla-Anabaena complex as a nitrogen fertilizer for rice. International Rice Research Institute. Res. Pap. Ser. 11. 15pp.

Williams, C.H. and D.J. David. 1963. Effects of pasture improvement with subterranean clover and superphosphate on the availability of terrace to plants. Aust. J. S. R. 14:85-93.

第六章　除草劑之研發、登記及上市

方麗萍
玉田地有限公司

一、前言

早於 1958 年由英國 ICI Ltd. (現已由先正達 Syngenta 銷售)研發巴拉刈(paraquat)(Agricultural Chemicals Book II Herbicides, 1998)成功，為速效、接觸型除草劑。嘉磷塞(glyphosate)於 1972 年由美國孟山都(Monsanto)(Agricultural Chemicals Book II Herbicides, 1998)研發成功，為廣效、系統型除草劑。在果園中, 廣泛噴施嘉磷塞，因具系統移行性，方便施用，效果持久。在短期作物上，則因巴拉刈具有速效特性，而廣為應用。於 1981 年由德國赫斯特(Hoechst AG，現已由拜耳 Bayer 銷售)研發出固殺草(glufosinate-ammonium)(Agricultural Chemicals Book II Herbicides, 1998)，但它既沒有巴拉刈速效的特性，亦未能如嘉磷塞般藥效持久，卻因略具移行性的特性，擁有以上兩非選擇性除草劑之優點。適逢 80 年環保意識高漲，固殺草成功找出市場定位，從此嘉磷塞、巴拉刈及固殺草在全球之非選擇性除草劑形成三雄鼎立之局面。

在臺灣市場，以上三種產品為主要非選擇性除草劑。回顧歷史，1984 年巴拉刈獨佔鰲頭，年銷售量為 4 仟噸，出廠單價每公升為 100 元；嘉磷塞僅 300 噸，單價高至 700 元，為巴拉刈的 7 倍(臺灣區植物保護工業同業公會 1985)。於 1991 年固殺草推出時嘉磷塞之單價已逐年降價至 140 元，但銷售量遙遙領先巴拉刈時嘉磷塞及巴拉刈之銷售量分別為 4,262 公噸及 2,199 公噸；銷售金額分別為 5.8 億及 1.8 億。在兩強之下，固殺草單價又是兩者之 3 倍，市場開拓並不容易，主要由淺根作物開始深耕市場，如香蕉，檳榔，花卉等，短短 8 年銷售金額亦攀至上億元。根據 2003 年統計資料，嘉磷塞銷售量為 6 仟噸、巴拉刈為 3 仟噸、固殺草為 5 百噸。銷售金額分別為 5.6 億、3.3 億及 1.5 億。

環顧過去半世紀，廣效性除草劑成功上市的產品屈指可數，預測未來不可能有新藥劑能如此在市場稱霸。只是除草劑的下一個研究目標已清晰可期，孟山都、先正達、拜耳、杜邦等已積極投資於基因轉殖作物之研發上。在過去 10 年間，除草劑之使用與市場已迅速起了變化，預期基因轉殖的除草劑將於未來 10 年取代許多的傳統除草劑，影響所及不只非選擇性之除草劑，如水稻等及旱田除草劑亦必朝此方向發展。

二、世界農藥之研究、發展、登記

一種新農藥從研發至登記完成，在 2000 年需耗費 1.84 億美元(表 1；AGROW World Crop Protection News 2003a)，折合新臺幣高達 65 億元，相當於台灣全省農藥年銷售之總金額。因為農藥研發及登記要求愈來愈嚴謹，且有更多的法律、專利、權利金等問題，未來農藥登記之花費必更為龐大。

1995 年一種新農藥從研發至登記需要投資 1.52 億美元，折合新台幣 53 億。至 2000 年，登記費用必需增加 21%, 高達 1.84 億美元，折合新台幣 64 億。 時間方面，於 1995 年花費 8.3 年即可完成登記，至 2000 年則需長達 9.1 年。在 1975 至 1980 年是化學農藥的黃金歲月，由發現至成功推出農藥至市場僅需 2 仟 3 百萬美元，折新臺幣僅為 8 億。龐大的開發費用，尚需很多因素的配合下，才可順利成功開發一種農藥，亦可預期新農藥之開發難度愈來愈高。耗費之大，應視之為人類之公有財。一個優良農藥，應理性使用，對症下藥。方法及用量恰當，各藥劑輪流使用，可避免抗藥性產生。若再積極配合疫病蟲害綜合管理 (Integrated Pest Management, IPM)等，才可以將藥劑生命有效延伸，產品才可為人類做出更大貢獻。

(一)除草劑市場概要

1.世界除草劑市場概要

(1)除草劑市場

Phillips McDougall 估計 2003 年全球農藥市場為 266 億美元，較之 2000 年的總金額 292 億美元減少 9%(AGROW World Crop Protection News, 2004)。導致全球農藥表現不佳，主要因為農產品價格低落、乾旱等問題，近年因為基因轉殖作物大幅度增加，影響傳統化學農藥市場至鉅。

表 1. 農藥研發費用 (1995 年及 2000 年)。 (金額單位：百萬美元)

項目	1995 年	2000 年	差異%
1. 研究(research)	72	94	+30.6
- 化學(chemistry)	32	41	+28.1
- 生物(biology)	30	44	+46.7%
- 毒理及環境(toxicology & environmental chemistry)	10	9	-10%
2. 開發(development)	67	79	+17.9%
- 化學(chemistry)	18	20	+11.1%
- 田間試驗(field trials)	18	25	+38.9%
- 毒理(toxicology)	18	18	0%
- 環境(environmental chemistry)	13	16	+23.1%
3. 登記(registration)	13	11	-15.4%
總計	152	184	+21.1%

英國顧問公司 Phillips McDougall 之調查。

全世界農藥主要分為四項，2002 年農藥分類統計，除草劑佔 46.6%，殺蟲劑 28.8%、殺菌劑 18.5%、其他為 6.1%，如(表 2；AGROW World Crop Protection News 2003b)。

全球農藥主要使用在五種作物上，包括穀類、玉米、稻米、大豆及棉花，於 1999 年農藥銷售於以上作物之總金額約為 150 億美元，超過全球總農藥用量一半以上。 其中栽培大豆及玉米所需之除草劑遠超過殺菌及殺蟲劑(表 3) (玉田地有限公司，2004)。

(2)抗除草劑轉殖基因作物市場

自 1996 年至 2003 年，全球轉殖基因作物之耕作面積每年呈兩位數成長，轉殖基因大豆佔全球大豆耕種面積 55%，棉花亦佔 21%。美國為轉殖基因作物之主要國家，佔全球之 63%，其中以抗除草劑之作物發展最為快速及成熟，約佔總市場之一半(表 4)(The International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA),

表 2. 全球農藥銷售金額(2002 年)。 (單位：億美金)

農藥分類	銷售金額	各類佔總農藥銷售金額%
除草劑	129.55	46.6%
殺蟲劑	80.15	28.8%
殺菌劑	51.35	18.5%
其他	16.80	6.1%
總計	277.85	100.0%

表 3. 全球農藥依主要作物分類(1999 年)。 (單位：億美元)

分類	大豆	玉米	穀類	稻米	棉花
除草劑	20.0	27.5	23.8	10.6	6.3
殺菌劑	0.6	0.6	15.6	5.6	0.6
殺蟲劑	1.9	6.3	2.5	8.1	11.2
總金額	22.5	34.4	41.9	24.3	18.1
除草劑佔總農藥金額%	89%	80%	57%	44%	35%

表 4. 全球轉殖基因之主要特性。 (單位：百萬公頃)

特性	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
耐除草劑 Herbicide tolerance	0.6	6.9	19.8	28.1	32.7	40.6	44.2	49.7
抗蟲 Insecticide resistance (bt)	1.1	4	7.7	8.9	8.3	7.8	10.1	12.2
耐除草劑及抗蟲 Herbicide/bt tolerance	-	<0.1	0.3	2.9	3.2	4.2	4.4	5.8
抗病毒 virus 及其他	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
總面積	1.7	11	27.8	39.9	44.2	52.6	58.7	67.7

2004)。轉殖基因對傳統農藥影響甚為深遠。世界跨國農藥集團已涵蓋植物保護及種子兩大層面，如孟山都、先正達、拜耳、杜邦等均積極投入轉殖基因作物之市場。

2.國內除草劑市場概要

(1)除草劑之農藥許可證核發概況

至 2004 年行政院農業委員會共核准 391 種農藥，農藥許可證共 4,505 張；加上混合劑型計算，共核准 4,984 張。其中除草劑共計 71 種，農藥許可證共 518 張；加上混合劑型計算，共核准之除草劑為 98 種，農藥許可證共 562 張。 除草劑約佔農委會總簽發之農藥登記證數量之 11% (行政院農業委員會 2004)。

(2)除草劑在農藥市場之概況

除草劑在臺灣農藥市場佔舉足輕重之地位，以量而言，2003 年除草劑之總銷售量為 16,243 公噸，佔總農藥總銷售量之 40%以上；以銷售金額而言，2003 年為 14 億新臺幣，佔總農藥市場之 24%(表 5)(臺灣區植物保護工業同業公會 2004)。

(i) 非選擇性除草劑市場

非選擇性除草劑主要包括嘉磷塞異丙胺鹽 41%溶液、巴拉刈 24%溶液及固殺草 13.5%溶液。以上三者共佔臺灣除草劑總市場之銷售量 60%，銷售金額 70%(表 6)。 嘉磷塞異丙胺鹽每年均獨佔鰲頭，2003 年銷售量為 6,194 公噸，金額為 5.56 億元，單一藥劑即佔除草劑市場總銷售量及總銷售金額 38%以上。近年農藥原體准予自中國大陸廠商直接供應，多家廠商已取得嘉磷塞原體之進口許可證，對臺灣的非選擇除草劑市場增添了幾分競爭之因素。

(ii)主要水稻田除草劑市場

水稻除草劑主要劑型為粒劑，2003 年臺灣市場總銷售量為 5,473 公噸，總

表 5. 臺灣農藥銷售統計(2003 年)。 (價格：以出廠價計算)

農藥分類	銷售量(公噸)	各類佔總農藥銷售量%	銷售金額(百萬台幣)	各類佔總農藥銷售金額%
除草劑	16,243	41%	1,480	25%
殺蟲劑	17,656	44%	2,790	46%
殺菌劑	4,826	12%	1,595	26%
其他	1,188	3%	178	3%
總計	39,913	100%	6,043	100%

表 6. 主要非選擇除草劑銷售統計(2003 年)。 (價格：以出廠價計)

排名	主要除草劑及劑型	英文普通名稱	銷售量(公噸)	銷售金額(百萬台幣)
1	嘉磷塞異丙胺鹽 41%溶液	Glyphosate IPA	6,194	556
2	巴拉刈 24%溶液	Paraquat	2,960	326
3	固殺草 13.5%溶液	Glufosinate- ammonium	520	153
	其他	Others	30	13
	非選擇性除草劑總市場		9,704	1,048

銷售金額約為 1 億 4 仟萬(表 7)。其中丁基拉草及丁拉免速隆為市場領導產品，兩者共佔水稻除草劑銷售量之 78%，銷售金額之 41%。

(iii) 旱田選擇性除草劑市場

旱田選擇性除草劑以伏寄普及施得圃為主，在 2003 年之金額分別約為 5 仟及 3 仟萬元(表 8)。

(二)國內除草劑登記法規、程序、管理

1.除草劑登記法規

國內之『農藥管理法』 於 1972 年公告，現行之版本為 2002 年 12 月 18 日修訂，政府為保護農業生產，消除病蟲害，防止農藥危害，加強農藥管理，促進農藥工業發展，特制定該法。

政府在農藥上扮演監督之責任，主要可分『農藥許可證』之核准及市面上之藥劑之管理兩大層面。國內之最高主管機構為行政院農業委員會。關於法令詳細內容，請參閱政府之農藥管理法、農藥管理施行細則及相關法令。相關資料在農委會之網站(www.cao.gov.tw)均有詳盡說明。

2.除草劑登記程序

根據農藥管理法(行政院農業委員會，2002)，除草劑屬於農藥，故登記及管理必須以農藥之層面說明。在國內農藥市場規模不大，至目前國內尚未有研發新農藥能力，農藥之原體除少數國內合成外，皆由國外供應，成品則由原體在國內加工或直接由國外進口。廠商必須依據法令辦理相關手續才得以獲准取得輸入、加工之農藥許可證。

(1)農藥許可證之分類

依據『農藥管理法』，申辦農藥許可證，共分為以下兩大類，各別有其不同的登記審查程序。

(i) 農藥原體：係指用於製造成品農藥所需之有效成分原料，以申請登記而言，可分為以下三種：A.尚未核准登記之有效成分。B.已登記而未滿 8 年

表 7. 主要水稻田用除草劑之銷售情形(2003 年)。 (價格：以出廠價計算)

排名	主要除草劑及劑型	英文普通名稱	銷售量(公噸)	銷售金額(百萬台幣)
1	丁基拉草 5%粒劑	Butachlor	3,023	43
2	丁拉免速隆 2.583%粒劑	Butachor+bensulfuron-methyl	1,334	38
	其他		1,173	89
	水稻田除草劑總市場		5,530	170

表 8. 主要旱田選擇性除草劑之銷售統計(2003 年)。 (價格：以出廠價計算)

排名	主要除草劑及劑型	英文普通名稱	銷售量(公噸)	銷售金額(百萬台幣)
1	伏寄普 10%可濕性粉劑	Fluazifop-butyl	100	54
2	施得圃 34%乳劑	Pendimethalin	172	36
	其他	Others	737	172
	旱田選擇性除草劑總市場		1,009	262

之有效成分。C.登記已滿 8 年之有效成分。

(ii) 農藥成品：其種類共可分為以下四種：A.尚未核准登記之有效成分或登記未滿 8 年之有效成分。B.新製型或新含量劑型或含量與已核准登記之農藥不同之成品農藥或混合劑。C.舊農藥新使用範圍。D.已核准登記屆滿 8 年之成品農藥。

(2)農藥申請登記及審查之程序

農藥登記之作業流程嚴謹，目的是確保核准之登記農藥符合國內之規範，包括藥物之理化性質、毒性、藥效及殘留問題等的監督及管理。主辦單位亦會依據國際規範，修訂國內之相關法規及施行方法，以期農藥之管理更合符世界標準。

(i) 申請一般化學農藥登記所需資料: A.農藥登記資料審查申請表(可上農業藥物毒物試驗所網站登錄表格)。B.農藥登記資料審查摘要表(可上農業藥物毒物試驗所網站登錄表格)。C.農藥物理性、化學性及品質管制資料。D.組成分分析法。E.農藥毒理資料。F.使用方法及注意事項。G.國內外藥效試驗（含藥害）資料。H.作物殘留分析法。I.容許量資料。J.商品化文件。

(ii) 農藥登記審查之程序: 農藥查驗登記主管單位為『行政院農業委員會』，管理機構為『行政院農業委員會動植物防疫檢疫局』。申請農藥許可證之單一窗口為『行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所』。

A. 農藥查驗登記之申請程序，如表 9(行政院農業委員會 2004)。

B. 農藥登記審查流程，分為兩大類，最大的差異為需進行田間藥效試驗與否。

第一類：免進行田間藥效試驗。農藥原體及已核准登記屆滿八年成品農藥登記，免進行田間委託試驗，審查流程，如圖 1(行政院農業委員會 2002)。

第二類：需進行田間藥效試驗。尚未核准登記之有效成分或登記未滿 8 年之有效成分，新製型或新含量劑型或含量與已核准登記之農藥不同之成品農藥或混合劑及舊農藥新使用範圍，以上成品農藥申請登記，審查流程，如圖 2。

3.除草劑之管理

政府管理農藥，無論在加工、進口等過程，均需負起監督的責任。在販賣上，為維護農業生產安全及生態環境，行政院農業委員會動物植物防疫檢疫局訂定『農藥檢查取締作業規範』(行政院農業委員會動物植物防疫檢疫局，2004)，以供各直轄市及縣(市)政府負責執行農藥檢查取締作為依據。

農藥之管理均有其法源，現列出防檢局之『農藥檢查事項』，即可得知相關單位對農藥及劇毒農藥管理之主要重點(表 10)。巴拉刈為列入劇毒管理之除草劑，故管理上更為嚴格。

四、結語

全球除草劑之使用量至鉅，在農業資材上佔重要角色。在臺灣，化學農藥佔總作物生產成本約 7%，除草劑則佔農藥總市場之 25%，總銷售金額約 15 億新臺幣(玉田地有限公司，2004)。除草劑由研發、登記核准至成功上市，耗資費時，主要研發之國家為歐、美、日，繼而引進至其他各國。以台灣的規模，尚未具研發除草劑

之能力，原體或成品由國外輸入。近年世界主要廠商之研發方向均以除草劑抗性基因轉殖作物為主。在過去 10 年間，除草劑抗性基因轉殖作物已成功上市，並在各國銷售量快速成長，其研發、登記涉及法律和智慧財產等問題，過程顯得更為複雜和嚴謹。可以預期未來除草劑更是主要大廠之天下。 趨勢使然，各國必須面對如何因應基因轉殖之作物，訂定登記層面及法律上之管制，以確保農友及消費者之權益。

表 9. 農藥查驗登記之申請程序。

申請人	農藥藥物毒物試驗所	田間試驗技術小組	農藥技術諮議委員會		農業委員會	備註
			應用技術組	毒理組		
提出登記申請	資料審查			安全及理化性複審		免田間試驗之申請案，如農藥原體、登記八年以上之農藥、改換為較安全劑型者或經授權使用原廠資料者，若未變更使用方法者，僅須於初審通過後辦理規格檢驗，檢驗通過，即可辦理登記；變更原使用方法者須另送諮議會應用技術組審查，經諮議會綜合審議通過，方可辦理登記。
	通知接受田間試驗申請	田間試驗規範擬訂	田間試驗規範審核			
繳送試驗樣品	規格檢驗					
	通知繳交田間試驗費					
繳交田間試驗費		辦理藥效、藥害試驗				
	辦理殘留量試驗	田間試驗(藥效、藥害)結果審查及報告整理	田間試驗結果及建議使用方法審查	殘留量試驗結果及建議容許量、安全採收期之審查		
	檢齊廠商辦理登記證核發所需相關資料函知農委會核准登記，並副知申請人		綜合審查		公告新農藥普通名稱(包括新有效成份農藥、新混合農藥)、規格及檢驗方法、推薦使用方法及範圍(包括新效成份農藥、新劑型農藥、擴大使用範圍)、核發登記許可證或核准標示變更	

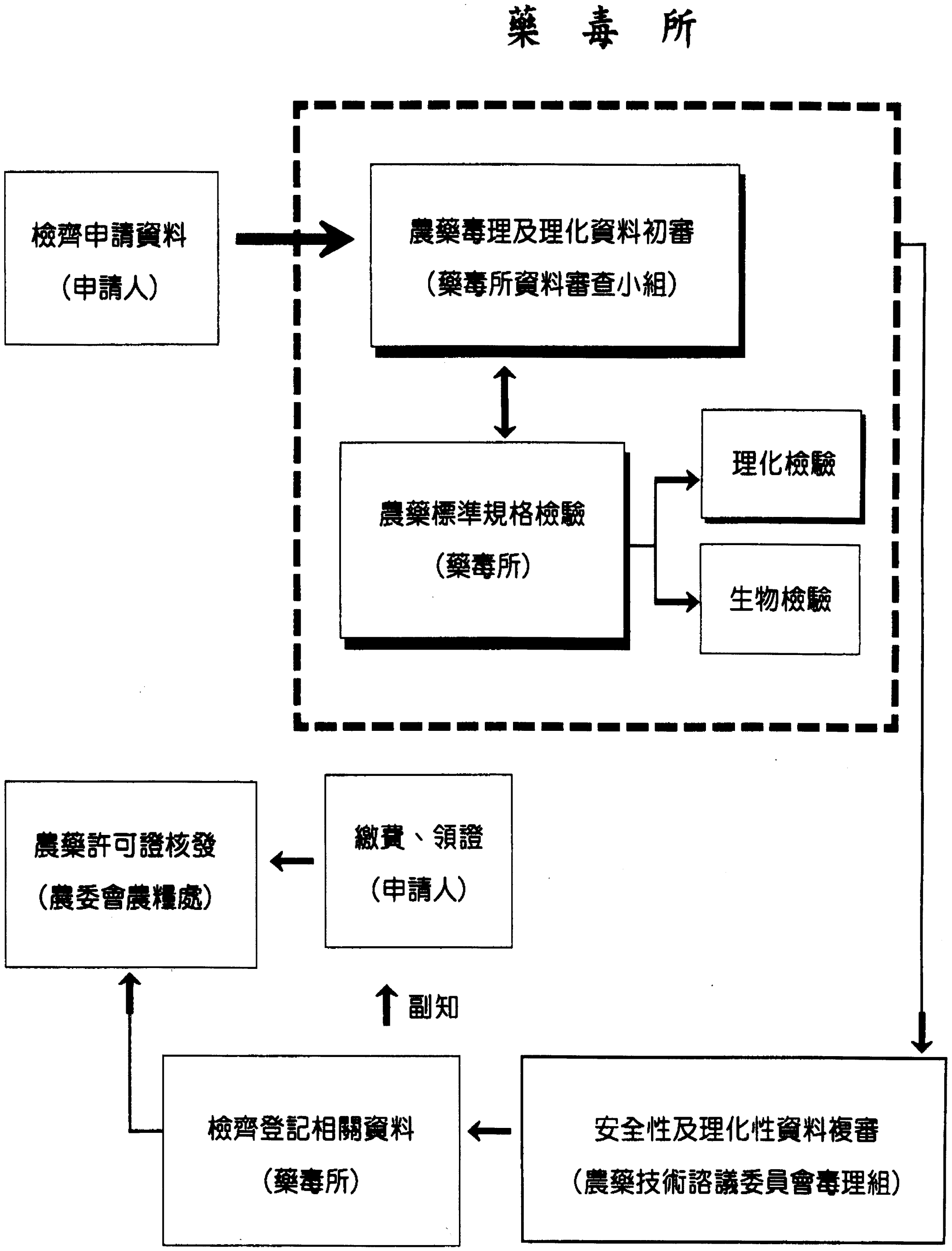

圖 1. 農藥原體及已核准登記屆滿八年成品農藥登記申請審查之流程。

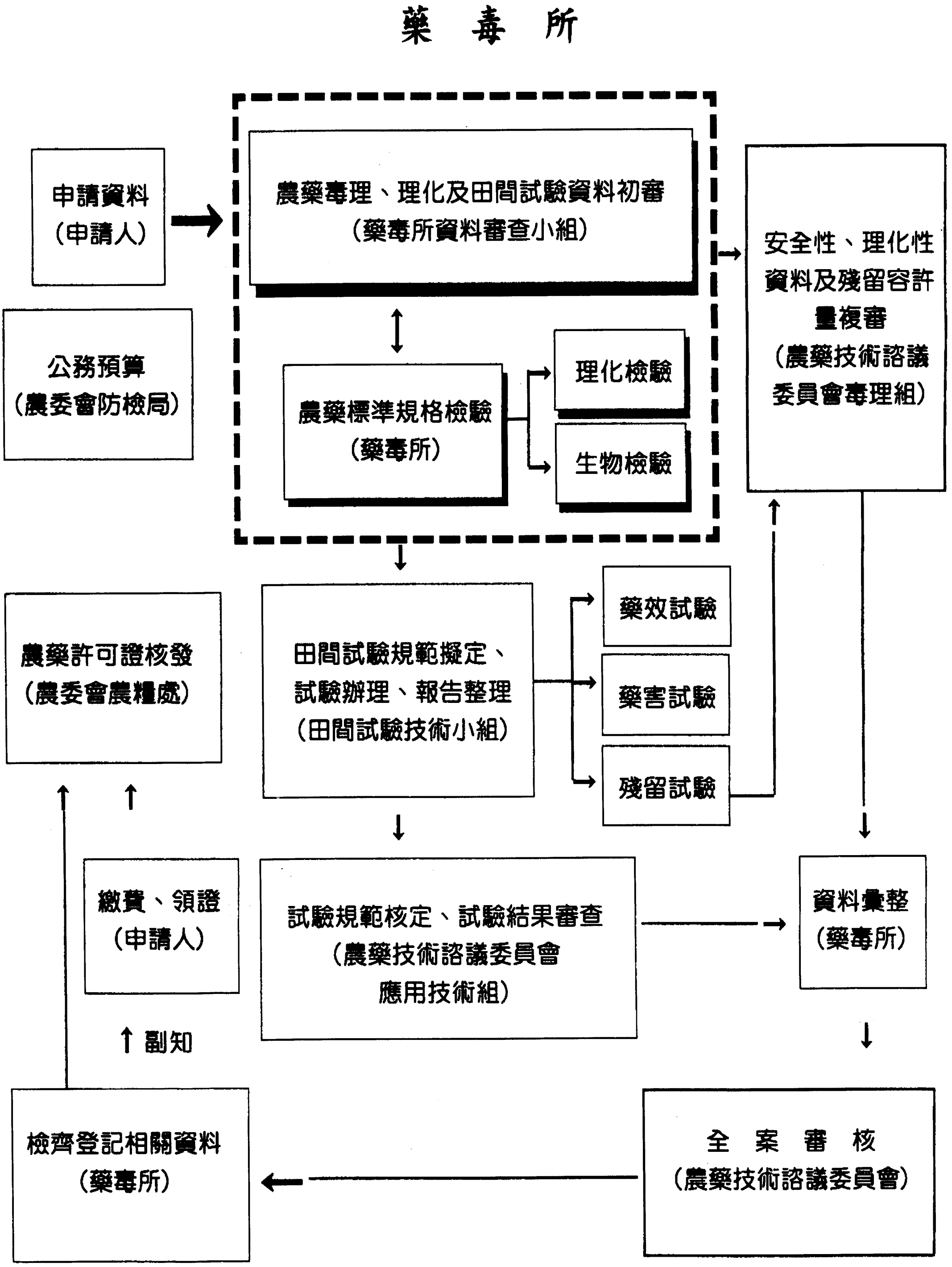

圖 2. 需進行田間藥效試驗成品農藥登記申請審查流程。

表 10. 農藥檢查表主要項目。

檢查項目
1. 是否無正當理由規避、拒絕或妨礙檢查。
偽劣農藥
2. 是否販賣、陳列、儲藏或分裝偽(禁用)農藥。
3. 是否販賣、陳列、儲藏或分裝劣農藥。
違反上述 2.3.項者應執行封存、拍照、清點數量並製作清冊。
販賣規定
4. 是否領有販賣執照。
5 是否懸掛農藥販賣業執照。
6. 是否有專任管理員駐店服務。
7. 登記事項變更是否符合申請規定。
8. 帳冊是否詳載三年內之進銷貨資料。
9. 兼營其他業務是否將農藥隔離陳列貯存。
10. 倉儲是否符合倉儲管理之規定。
11. 是否設置廢容器專用貯存設備。
農藥標示
12. 農藥標示是否含有未經核准之文字或圖案。
13. 是否將農藥拆封販賣。
14. 是否販賣無標示之農藥。
15. 農藥標示是否牢固附著於容器或包裝上。
16. 農藥標示是否符合中文標示規定。
17. 農藥標示記載事項是否完整。
18. 同一農藥是否有不同型式及顏色之標示。
宣傳及廣告
19. 是否從事虛偽誇張或不正當之宣傳或廣告。
20. 非農藥是否有農藥藥效之宣傳或廣告。
劇毒農藥
21. 是否為指定之劇毒農藥批發或零售業者。如販賣劇毒農藥需再檢查下列 22-26 等五項
22. 劇毒性農藥是否設專廚加鎖貯存。
23. 是否備有劇毒農藥登記簿冊。
24. 是否按規定登記劇毒農藥購買人資料。
25. 是否按規定詢問購買劇毒農藥之用途。
26. 是否將劇毒農藥售予未滿十八歲者。

世界各國對農藥之要求已愈來愈嚴苛，全新除草劑的成功研發，在市場成功推廣實是難事。而另一方面，在世界的脈動上，各大農藥廠商積極致力研發及推廣抗除草劑轉基因作物，顯然可見，該產業將更為蓬勃，直接影響傳統化學農藥的使用量。

以國內市場而言，可預估非選擇性除草劑之用量依然龐大，在未來數年亦會維持如此的銷售比例。水田除草劑因為水稻價格低迷，在世界貿易組織(World Trade Organization, WTO)開放稻米的進口壓力下，水田除草劑之市場會持續不振。在現今的植保觀念日漸趨強下，除草劑必是整合防除之重要一環。

五、參考文獻

玉田地有限公司。2004。農藥一路發網站(www.ag168.com)。

行政院農業委員會。2004。行政院農業委員會網站(www.coa.gov.tw)。

行政院農業委員會。2002。農藥管理法規，2002 年 12 月 18 日修訂。

行政院農業委員會動物植物防疫檢疫局。2004。『農藥檢查取締作業規範』，公文：防檢 3 字第 0931484347 及其附件 3『農藥檢查事項』，日期：93 年 7 月 5 日。

行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所網站(www.tactri.gov.tw)。

臺北市植物保護商業同業公會。2004。2004 年會員名錄。臺北市植物保護商業同業公會出版，臺北市。p.95-99。

臺灣區植物保護工業同業公會。1985-2004。1984-2003 年藥產銷統計。臺灣區植物保護工業同業公會出版。臺北市。

Agricultural Chemicals Book II Herbicides. 1998. 13th Edition. W.T. Thomson, New York. p.102.

Agricultural Chemicals Book II Herbicides. 1998. 13th Edition. W.T. Thomson, New York. p.238.

Agricultural Chemicals Book II Herbicides. 1998. 13th Edition. W.T. Thomson, New York. p.242.

AGROW World Crop Protection News. 2003a. Agrochemical R&D costs increase. 424:14.

AGROW World Crop Protection News. 2003b. Global agrochemical sales flat in 2002. 419:17.

AGROW World Crop Protection News. 2004. World agrochemical market recovers in 2003. 449:21.

The International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA). 2004. http://www.isaaa.org/kc/welcome.htm

第七章　除草劑之劑型配方

陳家鐘
朝陽科技大學應用化學系

一、前言

全世界主要的農耕作業大都依賴化學農藥，使農作物提高產量，達到日益增加的需要，現今消費者也繼續追求更多樣化及更高品質的農產品。多年以來，粉劑與乳劑類型之農藥就一直被使用來保護農作物，以避免雜草、害蟲與疾病的感染。從 1940 年代起，大型化學企業開始努力研發許多新的農藥，以提高農作物產量及品質，並將這些農藥引進國際市場。

農藥劑型的研發技術，也要因應農藥多樣化的化學物理性質而發展出不同的劑型，並使用各種不同的添加物與製造技術。例如：水溶性主成份可製作成液體或粉劑，油溶性的液體主成份則通常製作成以有機溶劑為載體的乳劑，不易溶於水以及有機溶劑的主成份則通常製成水懸粉劑、可濕性粉劑或水分散性粒劑等(Van Valkenburg 1973)。於 1980 至 1990 年，由於主管當局與消費者的要求，農藥業者必須將農藥劑型製造得更安全方便，而且要達到提高藥效、降低用藥量、對於非目標生物的毒性降低、以及符合環境安全的要求。

到目前為止，施用農藥的方法大部份是利用噴灑的方式，通常以水做為載體，但是偶而會用油當作載體。也有一些劑型是直接施用在土壤上或植物種子上，種子處理劑是防護種子在儲存期時的病、蟲、鼠害，有一些國家因為這樣的病蟲鼠害，而使農作物的收成率減少 30-40%左右。

農藥主成份包含的化學藥物範圍很廣，每一種都有其特殊的物化特性和作用機制，農藥主要的類別可分為除草劑、殺蟲劑、殺菌劑、植物生長調節劑、殺螺劑、與殺鼠劑等。經過長期的研究，人們已大多了解各種農藥的作用機制，以及劑型配方對藥效的影響(Chow *et al.* 1989)。

一個好的農藥原體需要有適當的劑型配方來配合，才能達到藥效及對農作物、農夫、非目標生物與環境的安全性。最早期的農藥劑型是簡單的粉劑、粒劑、水溶液和乳劑，自 1970 年代以來，就開始發展出較複雜的劑型配方，在這些新劑型中，加入了高效能的界面活性劑和其他添加物，人們也利用膠體及界面化學的原理，用以改善劑型的穩定性與藥效，現今的製程技術更能將固體農藥磨至較小的粒徑，以使其劑型得到較好的穩定性。

劑型配方最主要的目標如下：方便性、安全性以及高藥效。為了達到這些目標，進行農藥的劑型配方研究時，須注意下列的因素：(1)成品之物理化學性質、(2)主成份之生物活性及作用機制、(3)成品之使用方法、(4)成品之安全性、(5)製造成本、及(6)市場之需求。一旦考量上述幾個因素後，就可決定該農藥應採取的劑型種類、添加物與界面活性劑，所製成的成品的穩定儲存期最少應在兩年以上，而且在不同氣候狀況下皆須保持穩定。

目前最普遍使用的劑型仍然是水溶液(針對水溶性原體)、乳劑(針對油溶性原體)和可濕性粉劑或水懸粉劑(針對非水溶性與油溶性的固體原體)，而可以直接灑用的粒劑和種子處理藥劑也已經使用多年。近年來因為使用者與環境的安全考量，已經使得劑型配方的發展更加多樣化，1984 年 GIFAP（於 1996 年 GIFAP 被重新命名為 GCPF）對劑型的命名所訂出的國際編碼如下：粒劑 GR，水溶液 SL，乳劑 EC，可濕性粉劑 WP，水懸粉劑 SC，水基乳劑 EW，濃懸乳劑 SE，微乳劑 ME，水分散性粒劑 WG，微膠囊劑 CS，種子處理劑 DS、WS、LS、FS。

二、傳統劑型

(一)粒劑

粒劑通常是不必加水、直接灑到土壤中使用，萌前除草劑與施用於土壤中的殺蟲劑就常是這種劑型。主成分的濃度通常在 1-40%之間，顆粒的尺寸在 250-1,000 微米之間，粒劑的要求是不會結塊、不含粉塵、自由流動、而且在土壤中能夠崩解放出主成份。

粒劑的製作通常是以一個砂子顆粒為載體，利用黏著劑(PVP)將農藥粉末黏於載體表面而成，有時候也可以將主成分溶解在溶劑中再噴於顆粒載體表面而製成粒劑，樹脂或聚合物可以用來噴灑在粒劑上面以控制主成分的釋放速率。吸附載體的材料通常為礦物類或植物類，詳見表 1。

表 1. 粒劑載體的分類。

種類	範例
矽酸鹽類	厄帖普石、蒙特土、高嶺土、滑石粉、雲母、蛭石
碳酸鹽類	方解石、白雲石
合成類	鈣矽酸鹽、沉澱矽酸鹽、煙燻矽酸鹽
植物類	玉米心、穀粒、稻殼、大豆、核桃殼、大豆殼、椰子殼
其他	浮石

載體的吸附能力是依照各載體的晶體結構和有效表面積而定，各種載體分別有不同的吸附力(表 2)。

表 2. 粒劑載體的吸附能力。

載體	吸附力（$g\ 100g^{-1}$）
矽酸鹽	200
厄帖普石	100
蒙特土	23-70
高嶺土	20-54
滑石	20-40
碳酸鈣	5-18
玉米心	60-80
核桃殼	20-40

(二)溶液

所有劑型之中最容易製作的是溶液，溶液成品只要加水稀釋就可以噴灑

使用，但是主成分必須是水溶性而且不易水解。通常，溶液劑型會包含非離子性界面活性劑來幫助主成分在葉面上的濕潤。一般而言，溶液劑型都很穩定，很少有儲存不良的問題，但是偶而會在加水稀釋後產生沉澱現象，也可能發生腐蝕容器及噴灑器的情況。典型的溶液劑型配方如下：

主成分------------------------------------20-50%
濕潤劑------------------------------------- 3-10%
抗凍劑------------------------------------- 5-10%
水、水溶性溶劑 ------- 加滿至比例達 100%

壬烷基酚(nonylphenol group)與乙烷氧基(oxyethylene group)所製成的非離子界面活性劑，通常可另外加入噴灑水中，以增強濕潤作用與藥效。這類濕潤劑也可事先加在溶液成品中，例如：巴拉刈與嘉磷塞除草劑(Foy 1992)。有時也會在溶液成品中加入防腐劑，以免在儲存期間發生黴菌或細菌之生長。

(三)乳劑

乳劑已使用多年，其消耗量也是所有農藥產品之中最大的。乳劑的主成分通常是液態原體，或是低熔點、蠟狀的原體。首先將這些原體溶解在非極性的有機溶劑之中，有機溶劑包括二甲苯、碳 9-碳 10 溶劑、芳香族碳氫化合物、無臭煤油等，然後再加入界面活性劑，以幫助成品加水稀釋後能生成穩定、良好的乳液。界面活性劑的添加通常是要加入兩個以上，使得乳劑成品能在不同的天候狀況下與不同的軟硬水質下，都能生成良好的乳液。當乳劑加入水中形成乳液時，油滴的大小約在 0.1-5.0 μm 之間。

過去二十年間，因為非離子性界面活性劑的使用讓乳劑的製造技術大為進步，這個新的乳化劑的親水基是由 12 個以上的乙烷氧基聚合所構成，親油基則通常是由壬烷酚基所構成，與這個非離子性乳化劑配合使用的陰離子乳化劑則通常是十二烷基苯磺酸鈣。但是，近年發現壬烷酚乙烷氧基的非離子性乳化劑具有改變動物內分泌的可能，也會隨著排放水與地下水污染水源，所以已經逐漸改用非芳香族的烷基來取代壬烷酚基製作非離子性乳化劑。

乳化劑的含量通常是乳劑成品的5-10%，陰離子性乳化劑與非離子性乳化劑之間沒有固定的混合比例，通常只要把整體乳化劑的 HLB(hydrophilic-lipophilic- balance，親水親油平衡值)值調整在 8-18 之間，乳劑在加水後就容易生成良好的乳液。經由乳化實驗可以得到兩種乳化劑的最佳比例，所生成的乳液應該能瞬間乳化，繼而形成穩定的乳化狀態。若有油水分離現象與油滴結合現象，也應該保持在最少的程度。

適合製成乳劑的主成分，是依照它們在有機溶劑中的溶解度而定，若溶解度不夠的話，所製成的乳劑會不符合經濟原則。有時候加入一些高極性的助溶劑可以提高主成分在有機溶劑中的溶解度，使乳劑不至於在加水稀釋時發生結晶現象。典型的乳劑配方如下：

主成分-------------------------------20-70%
乳化劑混合物----------------------- 5-10%
有機溶劑/助溶劑 -----兩者合加至 100%

在乳劑中的有機溶劑與乳化劑有時

可以增加藥效，這個特點是其他劑型所沒有的，有許多的有機磷與除蟲菊殺蟲劑都是因為這個特性而製成乳劑。

基於健康、安全與環境的理由，乳劑因為含有有機溶劑而逐漸被改良成其他劑型，但是也有一些主成分只適合製成乳劑的。在這個情形下，有機溶劑可以改為具有較高閃爍點的溶劑，因而降低其可燃性，同時也可使用新包裝來減少乳劑與使用者之間的接觸。

(四)可濕性粉劑

可濕性粉劑已使用多年，主成分通常為高熔點的固態原體，這些原體先經研磨機在乾燥狀態下研磨，研磨機可以使用機械式或是氣衝式。和機械式比較，氣衝式研磨比較能磨出細微的顆粒，也較適合熔點不高的原體使用。然而，兩種研磨方法都必須預防因為靜電所生出的燃源，避免粉塵爆炸。

可濕性粉劑通常含有粉末狀的界面活性劑(濕潤劑及分散劑)，和粉末狀的惰性載體。可濕性粉劑經常含有 50%以上的主成分原體，惰性載體通常為矽藻土、高嶺土或滑石粉，這類載體的主要目的是在防止主成分結塊或聚集。

可濕性粉劑的粒徑大部份小於 5 μm，所有的顆粒均需能通過 44 μm 的篩網。在理想狀態下，可濕性粉劑中的界面活性劑含量應足夠將粉末顆粒在水中分散及在葉面上濕潤，且盡量不使顆粒被雨水沖離葉面。配方中所加的濕潤劑的作用是要使原體顆粒入水時，降低水與顆粒間之界面張力，使顆粒均勻分散於水中。分散劑的功用也是要防止在水中的顆粒不會聚集結塊，而保持良好懸浮狀態以供噴灑。

可濕性粉劑配方中常使用的濕潤劑有下列幾種: sodium dodecylbenzene sulphonate、sodium lauryl sulphosuccinate、sodium dioctyl sulphosuccinate、aliphatic alcohol ethoxylates、以及 nonylphenol ethoxylates。常使用的分散劑包括：sodium lignosulphonates、以及 sodium naphthalene sulphonate formaldehyde condensates。

典型的可濕性粉劑配方(按重量的百分率)如下所顯示：

*原體主成分 ----------------------25-80%
*濕潤劑 -------------------------------1-3%
*分散劑 -------------------------------2-5%
*惰性載體/ 填充物 ------------ 到 100%

液體農藥也能被惰性載體吸附而製成可濕性粉劑，惰性載體包括高嶺土或是具有高表面積的合成矽藻土，這類原體的含量通常是被限制在 40%以下。很多除草劑和殺菌劑可製成可濕性粉劑，但是因為粉塵的問題，所以可濕性粉劑正逐漸被水分散粒劑及水懸粉劑所取代。

(五)水懸粉劑

從 1970 年開始，農藥業者即將固態原體分散、懸浮在水中製成水懸粉劑，近年來相當多的製程是利用球珠研磨的濕式研磨機，在配方中也使用界面活性劑來作為分散劑和濕潤劑。水懸粉劑有許多優點，例如固體主成分的含量可以提高，成品容易使用，對農夫及環境之安全性高，製造過程也不困難。水懸粉劑很容易加入增效劑來提升藥效。一般

而言，農夫較喜歡使用水懸粉劑而不是可濕性粉劑，因為水懸粉劑不會產生粉塵，也比較容易操作及計量。然而，水懸粉劑也有一些缺點，例如在儲存過程中容易沉澱結塊、在低溫下可能結冰而引起主成分之結塊(Tadros 1987)。

通常，水懸粉劑在製作過程中，是先利用高剪力(high shear)攪拌，使原體顆粒懸浮於含有分散劑及濕潤劑的水中，接著經由濕式球珠研磨機將顆粒磨至粒徑在 0.1-5.0 μm 的範圍內。配方中的濕潤劑與分散劑主要是幫助顆粒的濕潤和分散，而且當顆粒被磨成更小的粒子時，分散劑會吸附在原體粒子之表面使顆粒子不至於再結合而能維持在懸浮的膠體狀態。

在水懸粉劑製作過程中通常添加的濕潤劑與分散劑包括：sodium lignosulphonates、sodium naphthalene sulphonate formaldenhyde condensates、aliphatic alcohol ethoxylates、tristyryl-phenol ethoxylates and esters、以及 ethylene oxide-propylene oxide block copolymers。此外，亦有新的高分子界面活性劑可以強力地吸附在水懸粉劑的顆粒表面，可以大幅度的改進水懸粉劑的長期儲存穩定性(Health *et al*. 1984))。典型的水懸粉劑配方(依重量百分比)顯示如下：

主成分 --------------------------------20-50%
濕潤/分散劑 -------------------------- 2-5%
丙二醇 --------------------------------- 5-10%
增黏劑 ------------------------------- 0.2-2%
水 ----------------------------------- 至 100%

在研磨過程中添加增黏劑是在增加水懸粉劑的黏稠性及三度空間網狀結構，使其在長期儲存時，防止原體微粒沉澱。增黏劑通常是使用遇水會膨脹的膨潤土，也可以再加入水溶性聚合物與膨潤土搭配使用，而這些水溶性聚合物通常是纖維素的衍生物、天然樹膠或其他多醣類，例如三仙膠。這些水溶性聚合物容易滋生微生物，所以需要加入防腐劑來防止異變之產生，以維持適當的黏稠度，確保其長期儲存安定性。許多學者已經利用增黏劑與原體顆粒之間的流變學，去預測成品的長期儲存安定性，但是水懸粉劑仍需要真正地裝在正式的包裝中，進行各種溫度範圍的長期儲存測試(Tadros 1995)。

目前已經有許多固體主成分被製成水懸粉劑而採取罐裝包裝，但是基於罐裝之廢棄物問題，美國和歐洲已逐漸對水懸粉劑的罐裝包裝型式加以批評，催促業者將大部份的農藥成品改為符合環保的紙類包裝，這將會對水懸粉劑的使用產生一些不利的影響。

三、新劑型

(一)普遍趨勢

近年，因為來自政府及環保單位的壓力，業界已開始發展對環境衝擊較小之新劑型(Holden 1992)。改進的主要目標如下：包括安全的製造方式和使用方式、方便農夫使用、包裝之廢棄和再利用、減少農藥使用量、以及減少所有固體廢棄物和廢水。

因此農藥新劑型的發展趨勢如下：

(1)儘可能不使用有機溶劑或使用較安全

的溶劑或是使用水性乳液、(2)以水懸劑或水分散性粒劑取代可濕性粉劑、(3)發展複合成份的劑型、(4)在配方中加入可以提高藥效的濕潤劑、(5)以微膠囊技術和種子處理技術來掌控農藥的釋放速率和作用目標、(6)發展新劑型(片劑或是凝膠)、(7)開發增效劑以增加農藥的藥效、以及(8)降低農藥用量。

這些多方面的需求，正在藉由先進的界面活性劑技術逐漸解決問題，另外，人類對膠體化學、界面化學和流變學的深度了解也有很大的幫助(Seaman 1990)。一個理想的農藥產品應該是不含揮發性溶劑、不讓使用者暴露於危險的環境中、低用藥量、高藥效、產品的包裝不會產生太多的廢棄處理問題。而最能夠符合以上條件者，就是水分散性粒劑或是已經用水溶性薄膜所包裝的可濕性粉劑，這兩種劑型均可直接加入水中後進行噴灑，相當安全方便，成品又可用紙類包裝。因此，主要的農藥公司均積極地發展此二種劑型。然而，並非所有的主成分都可以做成這些劑型，若要兼顧環保包裝與無粉塵操作系統之要求，以水為載體的劑型即可作為新的、可被接受的劑型。這些安全劑型包括：水懸粉劑、濃懸乳劑、水基乳劑、微乳劑、微膠囊懸浮劑、以及需要特殊包裝的凝膠或發泡錠。

(二)水基乳劑

水基乳劑現今受到相當多的期望，因為它是以水為載體，不必使用有機溶劑或只用很少的有機溶劑。和乳劑比較起來，它的製造成本較低，製造、運輸與使用時較安全。然而，在製造此劑型時，必須小心選擇界面活性劑來預防成品的結塊、浮油和底層分層的情形。非離子界面活性劑和聚合物界面活性劑現在正被用來製造安定的水基乳劑，使用非離子界面活性劑時，可以結合高 HLB 值與低 HLB 值的兩種界面活性劑，使得綜合 HLB 值約在 11~16 左右，如此可得最佳的乳化狀態(Tadros 1995)。液滴的大小也是此劑型安定性的一個指標，粒徑應保持在 2 μm以下。水基乳劑通常使用多醣體來做為增黏劑，例如：三仙膠，它可以防止油水分離，有時候也添加聚合物，例如：聚乙烯醇，聚乙烯醇的功能可以當作乳化劑、增黏劑和安定劑。

(三)濃懸乳劑(SE)

濃懸乳劑的使用越來越受歡迎，通常農民會同時將多種的農藥劑型混合噴灑，濃懸乳劑預先將不同的主成分混合在一個複方產品之中，可以確保主成分之比例正確，也事先克服不同農藥配方的相容問題。濃懸乳劑所含有的第一個主成分為固體，另一主成分為液體，此產品含有相容的三相：(1)液滴油相-分散相、(2)固體分散顆粒-分散相、及(3)水的連續相。

因此，濃懸乳劑可被認為是水懸粉劑與水基乳劑的混合體，它必須有界面活性劑和增黏劑來預防分散相的結塊及分層現象，分散劑的使用是為了在水中分散固體顆粒，原理與水懸粉劑相同，乳化劑使用的原理則與水基乳劑相同(圖 1)。因為此劑型是以水為載體而且有加多醣類來作為增黏劑，所以它必須添加防腐劑來預防增黏劑的腐敗。有時候，固體的主成分和液體的主成分會產

生非均勻相之集結，所以此產品的儲存試驗必須做得非常詳細(Seaman 1990)。

(四)微乳劑

微乳劑在熱力學上來說是穩定的，它在入水稀釋後呈現透明狀，在常溫下穩定，它的乳液粒徑小於 0.1 μm。微乳劑組成的三個成分如下：包括油滴或固體溶於有機溶液中、水、與界面活性劑。這些成分混合成單一相，裡面含有粒徑較大的膨脹的微胞，非水相的主成分和溶劑都溶解在微胞內而形成透明的微乳液。在製備微乳劑時，必須加入兩個不同類型的界面活性劑，一個是水溶性的，一個是油溶性的。水溶性的界面活性劑通常為陰離子或非離子型，需有非常高的 HLB 值，分子中的親油基需要與油相緊密結合，油溶性界面活性劑應有很低的 HLB 值，例如已醇。微乳劑的界面活性劑總含量可高達10-30%，而在普通的乳劑中界面活性劑只佔 5% (Tadros 1995)。微乳劑通常含有相當低的主成份濃度，但可能有相當高的藥效。

(五)控制釋放劑型

雖然控制釋放劑型已經被主要的農藥公司研究了 10-20 年，但是此類產品的商業化仍然相當緩慢。控制釋放劑型比起傳統劑型有許多優點，例如：有較長的藥效、可減少對於哺乳動物之毒性、控制或減少農藥之揮發、減少對農作物之藥害、增進與其他農藥加水稀釋後之相容性、減少魚毒性、減少農藥淋洗至地下水、減少有機溶劑之使用量、與及降低用藥量。

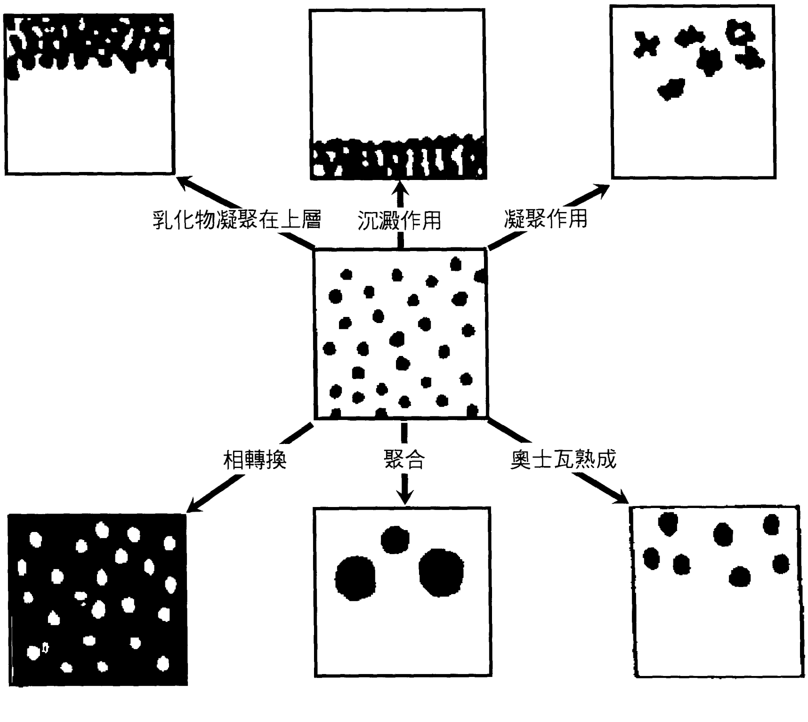

圖 1. 油在水中之乳液可能產生的不安定性狀況。

控制釋放劑型主要分成四個類別：包括(1)經過包覆的農藥粒劑、(2)與聚合物均勻混合固化之農藥、(3)與聚合物形成共價鍵之農藥、及(4)以聚合物為包覆薄膜之農藥，例如：微膠囊。

以聚合物薄膜或微膠囊包覆農藥之技術在近幾年開始流行，常用來製作微膠囊之方法是利用界面聚合原理，反應過程中主成分通常為液體或低熔點之固體。此固體可預先溶解在芳香族溶劑中形成油相溶液，一個油溶性單體如 TDI (toluene diisocyanate)異氰酸酯預先溶解在此油相溶液中，另外需製備一個含有界面活性劑與胺類的水相，然後將油相加入水相並以高剪力攪拌製出乳液，含有 10-30 μm 的油滴，同時異氰酸酯和胺類在油水之界面進行聚合反應，在每一個小油滴外圍形成聚合物薄膜(Scher 1983)。

控制主成分的釋放速率可以依下列因素而定：包括液滴的大小、聚合薄膜的厚度、交聯作用的程度或聚合物的多孔性，而微膠囊劑型中的農藥釋放速率則是由分子擴散速率的動力學決的。典型的微膠囊劑型成分如下：

主成分------------------------------------- 10-30
乳化劑-- 1-5
聚合物------------------------------------- 10-15
抗沉劑-- 1-3
水---------------------------------- 補足至 100

微膠囊如同水懸粉劑和水基乳劑，必須靠界面活性劑與增黏劑維持成品的安定性，已經上市的微膠囊產品之中，有些是製成除草劑來減少主成分的蒸發和減少使用有機溶劑，有些是製成殺蟲劑來減少毒性和增加藥效期間，也有些製成費洛蒙藥劑使其有效揮發濃度能維持 10-14 天以上。比起其他傳統劑型，微膠囊劑型之優點是能在長時間中持續維持最佳之主成分濃度，以增加主成分之總體藥效，這點可用圖 2 來顯示：

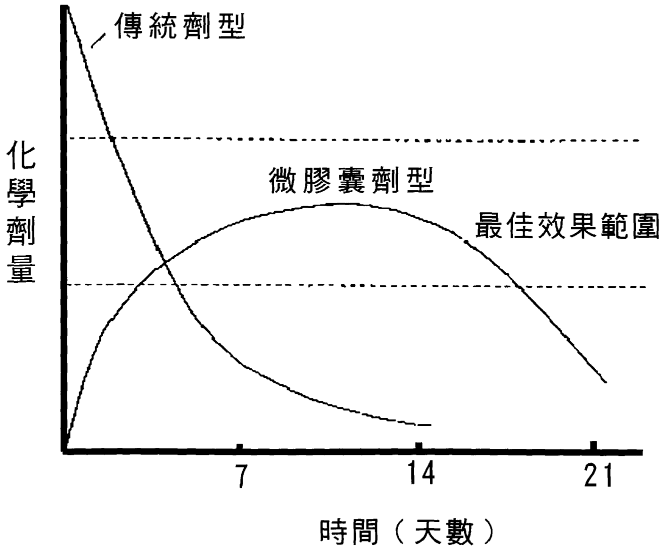

圖 2. 微膠囊劑型與其他劑型在藥物釋放濃度上之比較。

(六)水分散性粒劑(WG)

水分散性粒劑最近二十年開始被開發使用為較安全的新劑型，以替代水懸粉劑及可濕性粉劑。它特別引人注目的原因是其包裝和使用上的方便性，既沒有粉塵，產品也容易流動，當加入水中顆粒即能快速分散，而且因為是固體劑型，所以成品的包裝容易。良好的水分散性粒劑是入水後即能儘速分散，以符合水懸粉劑與可濕性粉劑分散性良好的性能。製造水分散性粒劑的工業技術比較複雜，有幾種不同的方法可以製造水分散性粒劑，前提是都必須使成品入水後能迅速崩解分散成細小顆粒，這方面的技術除了選擇界面活性劑與其他添加物之外，製造過程也十分重要(Capes 1980)，計有：(1)轉盤式造粒法、(2)混合式造粒法、(3)擠壓成型造粒法、(4)流體化床造粒法、及(5)噴霧乾燥造粒法等。製造方法之決定，必須依照主成分和添加物的物理化學特性，這些要素和所採用的製程將影響產品顆粒的外形、大小、粉塵量和入水分散性。

水分散性粒劑在水中分散所需的時間是非常重要的指標，它必須在不同的水溫和水質硬度中均能在兩分鐘內分散(Bell 1990)。水分散性粒劑如同水懸粉劑與可濕性粒劑，需要含有濕潤劑和分散劑，它們通常會包含水溶性鹽類做為產品入水後之崩解劑，其他添加之物質則可用具有水溶性或水分散性之填料。典型的水分散性粒劑成分如下：

主成分	50-90
濕潤劑	1-5
分散劑	5-20
崩解劑	0-15
可溶或不溶的填料	補足至 100

在此配方中所用的濕潤劑和分散劑，亦類似可濕性粉劑和水懸粉劑中所使用的界面活性劑。

四、農藥使用的界面活性劑

(一)概述

大部分的農藥劑型需要添加界面活性劑，界面活性劑有很多主要功能:包括濕潤、分散、乳化、溶解、及增強農藥藥效等。界面活性劑可以降低分子間的表面與界面張力以濕潤顆粒，它可以吸附在顆粒的表面上，幫助顆粒懸浮在水中而不至於集結，它可將油滴乳化於水中，亦可形成微胞溶解主成份以增加主成分在水中的溶解度。某些界面活性劑本身也是增效劑，可以加在稀釋水中以增加農藥的藥效，要能夠設計良好的農藥劑型配方必須先對界面活性劑的物理化學性質有深刻的了解(Porter 1994)。

在農藥配方中通常都會包含 1-10%單一或混合的界面活性劑，農藥加水稀釋時，有時會另外加入約 0.01-0.1%的增效劑，以幫助農藥濕潤、擴展或附著在葉面上。近年來為了提高農藥的藥效，甚至都會將增效劑增加至 1-2%，因為如此可以幫助農藥穿透葉面及在植物體內流動。根據估計，農藥所需要的界面活性劑每年約需 23 萬噸，佔所有界面活性劑消耗量的 3.3% (Hewin International 1994)。界面活性劑對不同物質之間的界面具有親合性，甚至在水溶液中界面活性劑分子也會彼此互相結合，而不會以單獨的分子溶解在水中，這種性質是源自它的分子結構。界面活性劑的分子有一部份帶有親水基，另一部份帶有親油

基，最通常使用的界面活性劑例子為十二烷基苯磺酸鈉。

界面活性劑可分為以下幾種類型:(1)陰離子界面活性劑:親水基本身帶負電。(2)陽離子界面活性劑:親水基本身帶正電。(3)非離子界面活性劑:親水基本身不帶電。(4)兩性離子界面活性劑:親水基分為兩個部位，各帶有正電和負電。

多樣化的界面活性劑可供農藥劑型配方之研發所用，界面活性劑可當作濕潤劑、乳化劑、分散劑，有時也可用為消泡劑、抗凝劑和增效劑。陰離子和非離子界面活性劑常用在農藥的劑型配方，陽離子與兩性界面活性劑則比較少用，這是因為配方中其他的添加物大多為陰離子的物質，這些添加物容易與陽離子產生集結凝聚之現象。在少數特殊的狀況之下，使用陽離子界面活性劑可以有殺菌的效果，使用兩性界面活性劑則可以在較特殊的酸鹼值範圍中發揮作用。在農藥配方之中，陰離子界面活性劑之使用約佔了 50%，然而在增效劑方面，非離子界面活性劑則佔了總使用量的 75%。

(二)吸附作用與表面張力

界面活性劑容易吸附在界面上，而非存在於均勻的溶液中，在很低濃度時，界面活性劑分子會以單層的排列型式填滿、吸附在界面之間。這些界面可以是空氣-水、水-油、水-固體及固體-油之兩相的接觸面，這個吸附作用可以大量地減少界面張力。一般的界面活性劑可將空氣-水的接觸面上的界面張力從 72 降到 30~35 mN m^{-1}，有較低的表面張力，而油-水間的界面張力可以從 30 mN m^{-1} 減少到 1~5 mN m^{-1}。界面活性劑的分子結構中若含有氟或矽成份則會有最低的表面張力，但是這些界面活性劑比普通碳氫類之界面活性劑還要昂貴。

(三)微胞之形成

當界面活性劑的濃度增加到超過單層結構緊密排列也無法容納時，界面活性劑的分子就會開始本身聚集而形成微胞，這個特殊的濃度稱為臨界微胞濃度或 CMC (critical micelle concentration)。微胞就是界面活性劑的分子上的親油基彼此集結在一起以避免與水接觸，所以形成微胞時，界面活性劑分子的親油基部分朝向內部而親水基朝向外面。微胞可以有各種不同的形狀，但最通常的是圓形，這種圓形的微胞可以包含幾十甚幾百個界面活性劑分子，對有機分子具有溶解能力。表 3 中一些常用的界面活性劑的臨界微胞濃度大約在 1.2-9.2 x 10^{-3} mol dm^{-3}。

表 3. 臨界膠質粒子的濃度。

界面活性劑	CMC ($mol\ dm^{-3}$)
Sodiun dodecylbenzene sulphonate	1.2×10^{-3}
Sodium dodecyl sulphate	8.3×10^{-3}
Hexadecyltrimethylammonium bromide	9.2×10^{-3}
Dodecanol 6EO	8.7×10^{-3}
Octylphenol 6EO	2.1×10^{-3}

(四)Krafft 溫度和混亂點

在某一個特定的溫度之下，陰離子和陽離子界面活性劑會喪失它們表面的活動力和水溶性，甚至會分層，這就是

所謂的 Krafft 溫度。另一方面來說，非離子界面活性劑卻會在高溫時形成混濁現象，這是因為非離子界面活性劑的乙烷氧基與水分子的氫鍵失效的緣故，這個溫度即稱為濁點(cloud point)。所以在設計產品的配方採用界面活性劑時，應該盡量避開這兩個溫度點，配方中若有電解質存在，通常會使界面活性劑提高其 Krafft 點和降低其濁點。

(五)濕潤和接觸角

當水接觸到固體表面時形成水滴而產生一個接觸角，在濕潤度不好的表面上，水滴的接觸角大於 90 度，接觸角的大小是由三種表面張力的平衡所決定的：包括空氣-固體張力、空氣-水張力、與及水-固體張力。

界面活性劑若能降低液體-固體張力和液體-空氣張力，使其小於固體-空氣張力，則較可以讓水滴產生瞬間濕潤與擴展的現象。

(六)濕潤劑

濕潤劑的定義，就是一個物質加入某液體以後，可以降低該液體的界面張力，增加該液體在固體表面上的擴展或穿透力。液滴在固體表面上的接觸角會因而降低，當接觸角到達 0 度，即稱為完全的濕潤。濕潤劑使用在農藥配方上，有兩個主要的功能：(1)在製造水溶液與水懸粉劑的過程中，增加水對粉末濕潤的速度。(2)成品於噴灑器中用水混合時，減少可濕性粉劑的濕潤時間，增加水分散性粒劑在水中分散的速度。

界面活性劑具有雙重性質，可以降低其界面張力，界面張力降低的越多，濕潤的程度就越大，所以分子量較小的界面活性劑是較好的濕潤劑。

界面活性劑的化學結構與其濕潤特性之間的關係如次：(1)親油基較短的界面活性劑，濕潤性較好：親油基碳鏈的長度在 12 左右有最佳的濕潤性。(2)鄰位烷基的苯磺酸鹽是較好的濕潤劑，勝過對位烷基或直鏈烷基的苯磺酸鹽。(3)極性官能基(酯類、醯胺類、乙烷氧類)太多會降低濕潤性。(4)非芳香醇類的乙烷氧化合物比非芳香酸類的乙烷氧化合物濕潤性好。(5)加入長鏈醇類和非離子界面活性劑可改善陰離子界面活性劑的濕潤性。在可濕性粉劑、水懸粉劑、和水分散性粒劑中使用的濕潤劑通常在 2-10%之間。

(七)分散劑

分散劑的作用，是吸附在固體顆粒的表面上，使該顆粒在水中保持分散狀態並防止其凝聚。在製造過程中，配方內的分散劑可以幫助顆粒的分散與懸浮，在成品加水稀釋時，分散劑可以使顆粒迅速分散於水中。在可濕性粉劑、水懸粉劑與水分散性粒劑之成品中，分散劑的含量通常在 1-6%之間。

當分散劑吸附在固體顆粒表面時，它形成了一個帶電性的或具有立體阻礙的表層，防止顆粒的集結。分散劑與濕潤劑的分子結構不同，濕潤劑通常為小分子，而分散劑則為較大的分子，因為這樣可使分散劑有較多的投錨點以吸附在顆粒上，分散劑的分散力也會因為顆粒的分子極性而改變。

最常做為可濕性粉劑的分散劑是木質磺酸鈉，對水懸粉劑而言，則是萘磺

酸鈉甲醛縮合物的分散效果最好。近年來，一些新型的高分子量聚合物也被做為分散劑，它們通常有一個很長的親油基做為龍骨，加上許多乙烷氧基聚合物連在龍骨上變成梳子狀的結構，這類的分散劑可以給水懸粉劑相當好的長期安定性，這是因為親油基所構成的龍骨可以在顆粒表面上升成許多的投錨點 (Knowles 1995)。

(八)乳化劑

乳化劑能夠使一個液滴穩定地存在於另一種液體中，否則，這兩種液體會分開為兩個不相容的液相。所以乳化劑是製造乳劑劑型不可或缺的界面活性劑，因為此種劑型的溶劑是非水溶性的有機溶劑，近年來的趨勢是減少使用有機溶劑，已經逐漸地製造水基乳劑來取代之。乳化劑的採用取決於主成分的分子極性、有機溶劑的種類和其他的添加物。乳劑的組成通常是大約 50%的主成分，不超過 10%的乳化劑，以及有機溶劑。適當的乳化劑可以使乳劑成品在水中立即乳化，乳化的穩定度也不會受水的溫度與水質軟硬度的影響。

最常用的配對乳化劑包含烷基酚或非芳香醇的乙烷氧聚合物與十二烷基苯磺酸鈣，經過如此配對的乳化劑的 HLB 值若保持在 8-18 之間，通常可得到良好的乳化效果。有時加入少量的乙烷氧基與丙烷氧基聚合物的界面活性劑，可以改進成品的乳化安定性。水基乳劑中的乳化劑的要求與乳劑的不同，水基乳劑的乳化劑必須緊緊地吸附在油滴表面上以維持長期的乳化安定性，所以必須使用更高的分子量和聚合物的界面活性劑。

(九)溶解力

當某些界面活性劑的濃度超過臨界微胞濃度以後，所生成的微胞能夠產生溶解能力，即可認定為溶解劑。它是將非水溶性的物質溶解在微胞內部的親油基部位，此時的外觀與一般水溶液完全相同，能被微胞溶解的非水溶性物質的量，隨著微胞的尺寸變大而增加。非離子界面活性劑的溶解能力通常比陰離子界面活性劑較高。

上述之溶解現象和微乳液之間的差異性仍不太清楚，有些研究報告認為微乳液就是界面活性劑濃度超過 30% 時形成的膨脹微胞所造成，若加入第二種界面活性劑，例如辛醇，也許會加大微胞的尺寸而造成溶解現象。主成分被微胞溶解後會不會產生結晶，則需要做長期儲存的安定性試驗後才能確認。通常做為溶解劑的非離子界面活性劑包括：山梨醣單油酸酯、聚乙烷氧基山梨醣單油酸酯、及甲基油酸酯。

(十)藥效之增加

界面活性劑與礦物油或蔬菜油混合後，可被做為增效助劑，隨著農藥加入噴霧器水中，經噴灑後可以改進主成分的藥效，這種施用農藥的方法有增加的趨勢。增效劑也可以直接加入農藥成品中，農民只要使用一罐成品，就可以解決相關的毒性、藥效、安全和環境問題。增效劑通常是非離子性界面活性劑，例如：烷酚基乙烷氧類、線性乙烷氧基脂肪酸酯、及乙烷氧基脂肪酸。

(十一)傳統的界面活性劑

可濕性粉劑的配方通常包含一個濕潤劑，例如十二烷基硫酸鈉或者琥珀酸基硫酸鈉，而可濕性粉劑也會包含一個分散劑，最常使用的分散劑是木質磺酸鈉。另一個受歡迎的分散劑是萘磺酸鈉甲醛濃縮化合物，這兩個陰離子性分散劑也可以用來製備水懸粉劑。他們有時會與非離子界面活性劑配合使用，例如：烷酚基乙烷氧化物或長鏈醇基乙烷氧化物。

增加乙烷氧基單位的數量可以增加界面活性劑的親水性，降低它的親油性，如果改變親油基或親水基的質量，則 HLB 值可以改變，同時也改變該分子的表面活性和溶解度。例如，增加乙烷氧基鏈的長度可以提高界面活性劑的濁點，並且防止成品在高溫儲存時產生結塊。

另一個在水懸粉劑中常用的界面活性劑，是以聚丙烷氧化物作為親油基和聚乙烷氧化物作為親水基。這些被稱為 ABA 型式，A 是聚乙烷氧基和 B 是聚丙烷氧基，藉著改變 A/B 比率或 A 和 B 的分子重量，可以演變出許多種不同性質的界面活性劑。乙烷氧基的單位數可以從二到數百的範圍，聚丙烷氧基的單位數則是從 12 到數百的範圍。

非離子界面活性劑的優點之一，就是可以改變乙烷氧基的單位數來修飾它的性質，因而決定它的 HLB。在 HLB1-4 範圍間的界面活性劑在室溫下很可能是不溶於水，在 HLB4-7 範圍間的產品則易生成不穩定的分散相，在 HLB7-9 範圍間的成品會產生穩定但不透明的分散相，在 HLB10-13 範圍內的產品會生成模糊的溶液，在 13-20 範圍的產品則可生成澄清的溶液。HLB 值 2-7 內的非離子界面活性劑是被用來製造水在油中的乳液(W/O)，而 HLB 範圍在 7-18 的產品則可以形成良好的油在水中的乳液(O/W)。濕潤、起泡和消泡的特性也是因 HLB 值而變，乙烷氧基的單位數通常在 4-50 個單位內，而最常用的壬酚乙烷氧化合物是含有 8-20 個乙烷氧基單位。

長鏈醇基與乙烷氧基的化合物也可以藉由改變乙烷氧基的單位數來調整性質，通常長鏈醇基是含有 C13-C15 的線性的合成非芳香族的醇類，如前所說，醇基乙烷氧化物現在比壬酚乙烷氧化物要受歡迎，這是因為前者對環境的安全性較高。

(十二)近代界面活性劑的發展

近代人們嘗試著去量身訂製界面活性劑與增效劑以符合特殊的需求，例如對水懸粉或水乳液而言，界面活性劑必須提供更好的表面吸附性質，以達到長期儲存安定性的要求。傳統的界面活性劑分子量大約為 1,000-2,000，一般說來它無法完全覆蓋在顆粒表面，因此容易脫附而使顆粒聚集，成品在儲存中會產生黏度增加及結塊情形。

為了要改善劑型成品的長期儲存安定性，人們研發出分子量 20,000-30,000 的聚合物界面活性劑，新一代的產品具有親油基的龍骨，這種結構具有許多的投錨點，可以牢固地吸附在顆粒的表面，這種聚合物比起一般傳統的界面活性劑有十倍以上的吸附能力，也比較不會脫附。因此聚合物界面活性劑會有更好的儲存安定性，既可提高主成分含

量，又不會增加黏稠度(Knowles 1995)。此類界面活性劑最好的例子之一，為具有親油性的聚甲基丙烯酯-甲基丙烯酸化合物為龍骨，親水基的聚乙烷氧基為齒端的產品。

另一例子是含有矽或氟元素的界面活性劑，它的表面張力可以低到 15-20 mN m^{-1}，而一般傳統的界面活性劑則是 30-40 mN m^{-1}。未來的界面活性劑發展趨勢，除了注意環境安全以外，也必須要求完全的生物分解性，且降低對哺乳類與魚類之毒性。以糖類或烷基聚醣作為基礎的非離子界面活性劑，可以取代烷酚基乙烷氧化物或其它合成的界面活性劑，這個新型的非離子性之界面活性劑對環境較安全。

五、農藥配方使用的其他添加物

(一)載體和稀釋劑

農藥用的載體或稀釋劑是指一些鈍性材料與主成分混合，使主成分能達到它應有的濃度，產品能夠安全方便地入水稀釋後噴灑。載體通常是高吸附性的鈍性材料，而稀釋劑則是低吸附性的鈍性材料。載體與稀釋劑通常是應用在下列劑型：包括粉劑、可濕性粉劑、粒劑、水分散性粒劑。這些鈍性材料會影響劑型的穩定性及藥效。載體和稀釋劑必須具有下列特性：包括與主成分相容、具有吸附性、可自由流動、有適當的假密度 (bulk density，顆粒或粉末密度之量度)、可分散於水中(但粉劑與粒劑除外)。

載體或稀釋劑最重要的特性是其吸附性，因載體的基本目的是在大範圍農田內均勻地散播主成分，因此最好有細微的顆粒尺寸與集中的粒徑分布範圍。此物質的假密度和下列的事項相關：包括主成分的分布範圍、主成分被風吹散之程度、主成分穿透葉面的程度、主成分在水中沉降的程度、與及劑型產品之使用方便性。主成分與載體或稀釋劑的共容性也很重要，載體及稀釋劑的表面若具有酸性、鹼性、或催化性的物質，極易造成主成分在高溫與長期儲存時的化學安定性不佳，此時可以加一些安定劑，例如：二醇類與其醚類、環己醇類或長鏈的醇類。

(二)溶劑

有機溶劑通常使用於乳劑、ULV (ultra low volume)和粒劑劑型，乳劑及 ULV 劑型包含超過 50%之溶劑而粒劑包含的溶劑則不超過 10%。雖然現在使用有機溶劑的比率逐漸下降，但乳劑依然是用量最大的農藥劑型。

當主成分有非常高的溶解度時，使用有機溶劑是最方便的。理想的有機溶劑應有的性質包括：對主成分有良好的溶解力、對農作物低藥害、不和主成分或乳化劑產生化學作用、對人體具低毒性且不刺激皮膚、低可燃性、易包裝、廉價而易取得。

沒有一種溶劑具有上述所有的之性質，因此需要找出折衷的辦法，有時也使用混合溶劑。第一類的有機溶劑是非芳香族的石蠟烴，例如煤油、石蠟油，這些油類具有不溶於水、低溶解力、低毒性與低藥害等特點。第二類由芳香族烴構成，例如：二甲苯，由於二甲苯的閃火點較低，所以常用 C_9 和 C_{10} 所

構成的較高分子量芳香族烴代替，這些溶劑和非芳香族溶劑比較起來，對主成分有較佳的溶解力，也能使乳液更安定，但也具有較嚴重的藥害及可能增加主成分之急毒性。氯化烴類因可燃性較低，所以也常被使用，它們具有較佳溶解力但較難乳化，所以此類溶劑可當作助溶劑，以防止乳劑在加水乳化時主成分在水中結晶。某些酮類溶劑可以應用於乳劑，因為它們具有相當好的溶解力，但缺點是高極性、高反應活性及微溶於水，此類溶劑最常用到的有：環己酮、甲基環己酮、isophorone、甲基苯基酮、NMP (N-methyl pyrrolidone)等。

醇類是一種高極性的溶劑，常用作助溶劑來增加溶解力和乳化穩定度。分子量較小的醇類閃火點較低，分子量較高的醇類則具有高藥害，例如：辛醇、壬醇，一般用於乳劑的醇類有：丁醇、壬醇、苯基甲醇、四氫呋喃甲醇等。

醚類是一種具有高極性及低藥害的助溶劑，常用的醚類包括二甘醇、丙二醇及二乙基氧化醇。

乳劑的使用很方便，因為有機溶劑可以幫助主成分被植物吸收與轉運的緣故，所以藥效也較高，但是有些溶劑也會對農作物造成藥害。表 4 列出有機溶劑對常見農作物的藥害狀況。

(三)抗沉劑

增稠劑或膠凝劑均可做為抗沉劑，主要應用於水懸粉劑、水基乳劑、濃懸乳劑等，來調整液體的流動性質，並防止液滴或微粒沉澱。因此這些以水為載體的劑型產品必須包含一些抗沉劑，才能保有長期儲存安定性，而且在加水稀釋時又能自由流動且分散。增稠劑、膠凝劑或是抗沉劑可以分為兩大類，一類是非水溶性的粉末，另一類是水溶性的聚合物。

如果在水懸粉劑之中使用黏土或矽藻土做為增稠劑，可以建立固體顆粒在水中的三度空間網狀結構，黏土的用量約 3%以下，矽藻土的用量在 1%以下，這些物質之敘述如下：

(1) 具膨脹性的黏土：蒙脫土、膨潤土、鎂鋁矽酸鹽。

(2) 不具膨脹性的黏土：凹凸棒黏土。

(3) 矽藻土：煙性矽藻土。

(四)水溶性聚合物

水溶性多醣體聚合物常用作增稠劑或凝膠劑，這些多醣體通常是由天然種子、海草萃取得到，或者是人工合成的纖維素衍生物：瓜爾豆膠、刺塊豆膠、褐藻膠、甲基纖維素、甲氧基纖維素鈉鹽、乙氧基纖維素。

表 4. 溶劑具有植物毒性之程度。

溶劑	植物毒性程度 [x]	
	5%乳化	0.5%乳化
Benzyl alcohol	3.0	0.2
Butanol	0	0
Cyclohexanone	0	0
Diethoxol	1.0	0.4
Isophorone	1.1	0
Kerosene	1.8	0.2
Mineral oil	2.1	0
1,1,1,-trichloroethane	1.7	0
Xylene	2.6	0.5

[x] 程度: 0=無藥害; 1=輕微藥害; 2=中度藥害; 3=重度藥害; 4=植物死亡。

其他類型的抗沉劑是澱粉、聚丙烯酯、聚乙烯醇及聚氧乙烷等。多數增稠劑與電解質不易相容，且會受到酸鹼值、溫度或其它添加物的影響，如：界面活性劑。1970 年代早期，一種新式的多醣類經由微生物發酵的產程再加上人工合成而得，此產品具有相當長的支鏈，分子量約為 200 萬，命名為三仙膠。三仙膠可溶於水中，且在濃度很低時即具有相當高的可塑性流體性質，三仙膠具有相當穩定的黏度，幾乎不受溫度及酸鹼值的影響，現在已經是水懸粉劑與水基乳劑最常用的增稠劑。它在劑型中單獨使用時，不超過 0.5%，或是可以和黏土或矽藻土混合使用以達到加成性的交聯作用(cross-linking)，此時它的用量則不超過 0.2%。當三仙膠與黏土或矽藻土形成交聯作用時，所產生的凝膠狀態具有高黏稠度，可以防止在水中的固體顆粒因為重力的影響而沉降。

同時使用非水溶性黏土與水溶性高分子來做增稠劑，可以得到加成效果包括高剪切力的懸浮液而容易自罐中倒出、入水時有較佳分散性、較不受溫度影響及長期儲存安定性 (尤其是在高溫下)。

(五)防腐劑

微生物經由許多管道進入農藥產品當中，然後使農藥產品腐敗。進入的原因如不清潔的工廠與設備、已受污染的原料和水暴露於空氣中。為了生長與擴展，微生物需要營養源，多數的農藥成品並不含有細菌的營養源，所以不易受到微生物之分解。實際上，某些殺菌劑本身即能做為防腐劑以防止真菌孢子的生長。然而，為了要達到提高農藥生物活性及維持長久儲藏期，通常需要添加防腐劑以防止細菌污染而破壞了農藥產品。界面活性劑和多醣類的增稠劑有時會成為微生物的營養源，所以需要防腐劑的保護。

固體劑型如粉劑、可濕性粉劑、粒劑，以及液體劑型如乳劑，並沒有足夠的水分提供微生物的生長，因此這些劑型不會被微生物分解，故不需要添加防腐劑。以水為載體的劑型例如水溶液、水懸粉劑以及水基乳劑特別容易遭受微生物的侵襲而最需要加防腐劑。在未來，防腐劑的使用會日趨增加，因為農藥劑型漸漸朝向安全劑型，以水為載體的劑型和容易被生物分解的添加劑成為研發的重點。假如以水為載體的劑型沒有加入防腐劑，則農藥成品可能發生的問題如下：產生氣體、產生腐壞氣味、顏色改變、酸鹼值改變、黏度改變、分層、沉澱。要維持農藥成品的品質與長期儲存安定性，以上的問題是需要避免的。

一旦進入成品之中，活躍的微生物可能會快速生長，本來僅是少數的微生物可能會成為主要的多數，成長的速度取決於配方添加物的性質，還有其他的因素例如酸鹼值、溫度、氧氣及濃度。微生物最喜歡的生長環境為中性酸鹼值及 15-40　之溫度，但有一些微生物也可以在酸鹼值 4 到 9 之間以及溫度在 7-60　之間生長。

微生物要生長必須有適當的碳源，例如多醣類增黏劑，有些微生物會分泌酵素破壞聚合物分子成為小分子的碳源。這些酵素就算微生物已被消滅，也

可以繼續存在，所以工廠生產農藥時，應該採取正確措施以防止微生物與酵素污染產品。無論如何，為了要使成品有長久的儲藏安定性，還是必須要添加適量的防腐劑。

以水為載體的劑型和殺螺、滅鼠藥所用的餌劑或粒劑，特別需要添加防腐劑。防腐劑的基本要求是殺菌範圍廣泛、在低用量濃度時也能發揮功效。多年來含有甲醛的福馬林(40%水溶液)是常用的防腐劑，但是因為甲醛的致癌性的關係，這種藥劑的使用大幅地減少。四級胺所做成的陽離子界面活性劑也可用來做為殺菌防腐劑，例如：16 烷基 3 甲基溴化胺或 16 烷基嘧啶基氯鹽。

然而，許多農藥配方中含有陰離子界面活性劑或陰離子多醣類增稠劑，都會與陽離子界面活性劑起化學作用，而使成品不安定，這些以水為載體的劑型就應該使用下列的防腐劑：包括丙酸和其鈉鹽、山梨醇酸和其鈉鹽或鉀鹽、安息香酸和其鈉鹽、對位氫氧基安息香酸和其鈉鹽及對位氫氧基安息香酸甲基酯。這些防腐劑在使用上相當安全，有的甚至可做為食品級的防腐劑(Smith 1991)。在長期儲存後，可能這些殺菌劑會失效，這是因為非離子界面活性劑所形成的微胞將殺菌劑包住，使其無法達到它的功能(Lehmann 1998)。

近年來，又研發出新的防腐劑，這些防腐劑的殺菌範圍廣泛，適用的酸鹼值範圍較大，而且不會被界面活性劑的微胞所包圍。一個最受歡迎的新殺菌劑是 1,2-benzisothiazalin-3-one (BIT)，這個藥劑可以與大部份的陰離子和非離子界面活性劑相容，也可以和多醣類與黏土類的抗沉劑相容，因此很適用於水懸粉劑與水基乳劑中。它通常是溶解在丙二醇溶液中，在劑型中的添加量大約為 0.03-0.06%之間。BIT 具有長期的儲存安定性，它的使用程度隨著人們對殺菌劑的進一步了解而增加(Knowles 1995)。

在製備水懸粉劑和水基乳劑時所要用到的多醣類增稠劑，有時必須預先製備其儲存液後再加入農藥劑型中，例如三仙膠在乾燥狀態中是安定的，但當製成水溶液後就需要立刻添加防腐劑，否則容易腐壞而使成品的黏度降低。這樣的步驟可以使增稠劑的儲存液保存 24 小時以上而不會腐壞。

施用於土壤中的殺螺餌劑和滅鼠粒劑都是特別的例子，這些劑型長期在土壤中容易受到微生物的侵襲，添加防腐劑可以抑制黴菌的生長。然而，防腐劑的味道卻可能使得螺與鼠類不願意接近這些餌劑。

(六)抗凍劑

抗凍劑是專門添加在以水為載體的劑型，主要是水懸粉劑，可使凝固點降至零度以下，通常達到-5℃～-10℃。例如乙二醇或丙二醇可當作抗凍劑使用，使用量約 5~ 10%。在少數的劑型中，某些主成份不易溶解在二醇類中，可改用尿素做為抗凍劑。有些國家比較喜歡使用丙二醇，而不用乙二醇，因為乙二醇可能轉變成草酸，此物質有致癌的可能。

(七)消泡劑

界面活性劑可以降低兩個界面之間的表面張力，但是含水的劑型在製造過程中也會因為界面活性劑的關係產生起

泡的狀況，為了要降低起泡的狀況，在農藥製造的過程中就必須要添加消泡劑。

消泡劑有兩種類型：包括矽化物和非矽化物。矽化物通常使用在二甲基聚矽氧烷的水乳液劑型，非矽化物的消泡劑通常包含非水溶性的液體，例如：辛醇、壬醇，矽藻土也可用為消泡劑。這兩類消泡劑的功能是在空氣與水的界面上取代界面活性劑而消除泡沫，這種特性有時會使水懸粉劑產生結塊的問題，所以消泡劑在劑型中的添加量應盡量維持最低量，一般不超過 0.2%。

(八)抗結塊劑

抗結塊劑是用在粉劑或粒劑之劑型當中，以預防產品在靜置後發生結塊現象，使用量為 2%以下。抗結塊劑也可以在製造過程中添加，以改善粉末的流動性，最常用的抗結塊劑是顆粒很細的矽藻土。

六、結語

欲使農藥的劑型配方製備成功，界面活性劑的適當使用十分重要，界面活性劑使得親油性的農藥原體能夠在水中乳化、分散或懸浮，因而可以均勻地噴灑到植物的表面，達到保護農作物的效果。殺蟲劑、殺菌劑的界面活性劑是盡量讓農藥主成分停留在植物表面，達到防治蟲病害。而除草劑的界面活性劑則是注重在協助主成分穿透葉面而進入植物體內，達到其效果。為了要加強除草劑的穿透葉面的能力，增效劑的使用也是一個重要的新趨勢。另外，若配合除草劑複成分的配合使用，使兩個主成分發生增效作用，更可讓除草劑發揮其最大藥效。

七、參考文獻

Van Valkenburg, W. ed. 1973. Pesticide Formulations. Marcel Dekker, New York.

Chow, P.N.P., A.M. Hinshalwood and E. Simundsson. eds. 1989. Adjuvant and Agrochemicals. Vols 1 and 2. CRC Press, Boca Raton, FL.

Foy, C.L. ed. 1992. Adjuvants for Agrochemicals. CRC Press, Boca Raton, FL.

Tadros, T.F. ed. 1987. Solid/Liquid Dispersions. Academic Press, London.

Health, D., R.D. Knott, D.A. Knowles and T.F. Tadros. 1984. Stabilization of Aqueous Pesticidal Suspensions by Graft Copolymers. p.11-28. *In*: Advances in in Pesticide Formulation Technology. H.B. Scher, ed. ACS Series, 254, American Chemical Society. Washington, DC.

Tadros, T.F. 1995. Surfactants in Agrochemicals. *In*: Surfactant Science Series, No.54. Marcel Dekker, New York.

Holden, W.T.C. 1992. Future Formulation Trend - the Likely Impact of Regulatory and Legislative Pressures. p. 313-20. *In*: Brighton Crop Protection Conference. Vol. 1, BCPC, Brighton.

Seaman, D. 1990. Trends in the Formulation of Pesticides – an Overview. J. Pesticide Sci. 29:437-49.

Tadros, T.F. 1988. The Development of

Suspoemulsion Formulations for Agrochemicals. p.271-83. *In*: Proceedings of the 2nd World Surfactants Congress. Section D. ASPA, Paris.

Scher, H.B. 1983. Human Welfare and the Environment. p.295-300. *In*: IUPAC Pesticide Chemistry. J. Miyamote and P.C. Kearney, eds. Pergamon Press, Oxford.

Capes, C.E. 1980. Particle Size Enlargement. Vol. 1. Elsevier, Amsterdam.

Bell, G. 1990. The Structure/Physical Property Relationships of a Model Water Dispersible Granule. J. Pesticide Sci. 29:467-73.

Porter, M.R. 1994. Handbook of Surfactants. 2nd ed. Blackie, Glasgow.

Hewin International. 1994. Reports on Agricultural Surfactants and Related Materials. Vols I and II. Hewin International, Amsterdam.

Knowles, D.A. 1995. Trends in the Use of Surfactants for Pesticide Formulations. Pesticide Outlook, Royal Soc. Chem. 6(3):31-4.

Smith, J. ed. 1991. Food Preservatives. Blackie, Glasgow.

Lehmann, R.H. 1998. Synergisms in Disinfectant Formulations. p.82-7. *In*: Industrial Biocides. K.R. Payne, ed. Published for SCI by John Wiley, London,

Knowles, D.A. 1995. Preservation of Agrochemicals. p.140-145. *In*: Preservation of Surfactant Formulations. F.F. Morpeth, ed. Blackie, Glasgow.

第八章　除草劑施用對土壤環境之衝擊

王一雄
國立臺灣大學農業化學系

一、前言

除草劑施用在環境中，用以防除雜草危害及其競爭養分與水分，除草劑在環境中可分佈於作物體、水域、土壤及大氣中，經由植物吸收、光化學分解、揮發作用、逕流移動、土壤吸附、雨水淋洗、土壤微生物分解、化學分解及滲入地下水層等，而在環境中轉變、移動及消失，除草劑使用對於環境的影響甚為密切，也很大程度之衝擊土壤環境。除草劑長期使用於環境後最主要的衝擊包括影響作物發芽及生長，污染水域 (包括對地下水污染)，污染土壤及生態破壞。

二、除草劑與土壤環境

農藥是用來保護農作物生長的化學品。農藥的範圍應包括從耕作前的耕地土壤消毒、種子消毒，以至於播種後作物之發芽、生長、開花、結果等過程中及收穫後之貯藏期間，一連串用來防除病蟲害及雜草與鼠患的藥劑。由於世界人口的不斷膨脹，人們不得不努力增產糧食，除了肥料以外，農藥的使用也很重要。根據過去統計，農作物增產量中有 60% 是由於使用農藥的結果，因此唯有繼續適當的使用農藥，才能維持糧食的穩定供應及提供無毒的農產品。在考慮未來農業的發展及食品的供應，必須重視植物保護藥劑的發展。

由於經濟的發展、工業的進步、城鄉的差距及鄉村就業的困難，使人口向都市集中，造成農村勞力日減。因為農耕人力不足必須以藥劑來代替人工防除雜草，因此除草劑使用日漸普遍。由於藥劑的效果顯著且節省費用及時間，除草劑用量不斷增加。固然，除草劑的大量使用帶來了環境污染及生態破壞，但是除草劑的使用確實提供了有目共睹的物美價廉農產品。所以在可預見的將來，除草劑仍須繼續被使用。為期除草劑繼續使用且不致造成公害，近年來除草劑之研究已逐漸的走出了傳統式劇毒的臼巢，而朝向發展無公害的方向邁進。

(一)除草劑化合物

在臺灣化學農藥之使用雖自 1949 年開始，但最初數年僅以利用殺蟲劑來控制害蟲為目標，因此農藥之使用僅限於殺蟲劑。我國自 1949 年起使用農藥的重要記事如下列：

1949 年：省農試所與糖試所在農復會之協助下，進口少量進行試驗。

1949 年：開始使用有機氯化物殺蟲劑 DDT。

1950 年：另一有機氯化物殺蟲劑 BHC (自英國進口) 開始使用。

1952 年：開始使用高毒性之有機磷化物殺蟲劑巴拉松 (ethyl parathion) (自德國進口)。

1952 年：以阿特靈 (aldrin, 有機氯化物殺蟲劑) 防治鳳梨粉介殼蟲。

1953 年：引進另一有機磷化物殺蟲劑馬拉松 (malathion)。

1955 年：以地特靈 (dieldrin, 有機氯化物殺蟲劑) 防治香蕉假莖象鼻蟲

1956 年：全面大量鼓勵進口。

而除草劑係自 1963 年才開始登記使用在旱田，當年引進達有龍 (diuron) 及草脫淨 (atrazine) 用以防治鳳梨園雜草，並以達有龍或草脫淨與 2,4-D 混合使用以防治甘蔗園雜草。

1965 年：第一次推廣在水田，使用護谷 (nitrofen) 或二氯苯腈 (dichlobenil) 用以防治水田雜草。

1971 年：除草劑種類增加至 35 種，保護對象作物達 17 種。

1989 年：除草劑種類增加至 107 種，保護對象作物達 41 種。

而在水田推廣使用之殺蟲劑已超過 20 種，一般普通使用者不過數種而已。本省之水田除草劑一般使用丁基拉草 (butachlor)、殺丹 (thiobencarb)、甲氧基護谷 (chlomethoxynil)。

2000 年：到 2000 年底共有 126 種除草劑化合物推薦使用於更多對象之作物或項目。

其中 1966 年曾被推薦於水稻秧田防除水稗之克靈稗(glenbar)，因藥害及效果問題，於 1971 年被取消登記。另有護谷 (1981)、達諾殺 (dinoseb 1986)及氰乃淨 (cyanazine 1987)因被認為有致畸胎性而被禁止使用，含有這些化合物之混合劑亦一併禁止使用。五氯酚鈉(PCP-Na)因含有不純物戴奧辛致癌性而被禁用，因而保無根 (allyl-MCP)、草敵克 (DIC-115)、益必田(ethyl-MCPA)及脫禾草 (phenothiol)等，因與五氯酚鈉成為混合劑，故於 1971 年被禁用，其中脫禾草到 1985 年才有單劑出現。

另有滅草 (MCP)、溴芬諾 (bromobutide)、殺克丹 (fluothiuron)、必滅草 (credazine)、佈殺丹 (prometryne)、愛落殺 (dimethametryn)、開抑草 (bensulide)與加賽等 (gracide)僅以混合劑使用，未有單劑使用及資料，故其單劑無中文普通名稱。

為了要使每一個化合物有名稱，故各藥劑即使以混合劑推薦而無單劑使用，亦給該化合物一中文名稱，例如普拉草及普芬草。對於過去用於混合劑而無單劑之化合物，亦逐漸給該化合物中文普通名稱，已實現的有殺奈丹 (naproanilide)，汰草龍 (dymron)等。許多混合劑多可由其名稱知其混合之化合物。例如本達亞喜芬、丁拉依速隆、施圃草脫淨等。

(二)土壤環境特性

土壤環境中之細微無機成分，是由不同粒徑大小之土壤粒子即黏粒 (clay, 直徑小於 0.002 mm 者)、坋粒(silt, 直徑在 0.002~0.02 mm 者) 及砂粒 (sand, 直徑在 0.02~0.20 mm 者為細砂，在 0.2~2.0 mm 者為粗砂) 以不同的比例存在。土壤環境中之物理化學反應受到土壤性質的影響很大，而在一土壤中土粒粗細的混合比例 (即土壤質地，soil texture) 是最重要的土壤性質之一，它影響土粒總表面積的大小、土壤通透性、土壤水分含量以及土壤微生物的活性等。土壤環境中另有腐爛的有機質，包括未完全分解的植物與動物遺體 (即非腐植質物質，non-humic substance) 及植物與動物遺體多少已經改變或再組成之產物 (即腐植質物質，humic substance)。前者為表現相當固定特性的有機化合物，僅在土壤有機物含量中占很低的百分率，如蛋白質、碳水化合物、有機酸、脂肪、油脂、木質素、色素和低分子量化合物等，而後者為土壤有機物之主體，通常被認為是芳香族化合物帶有脂肪族側鏈的高聚體化合物。這些有機物質很親密的與土壤無機成分結合在一起，或包被於整個土壤粒子之表面。

作物生長過程中必須不斷的自土壤環境中吸取水分和養分，這些水分和養分在土壤中停留的時間與存在的有效性，受到土壤環境中的有機成分和無機成分的影響很大。同樣地，其他化學品進入土壤環境後，在土壤中之運送、變動性和配置，也都受到土壤環境中持續進行的各種物理的和化學的反應之影響，因此化學品進入土壤後，會有各種不同的流向 (behavior)。

(三)除草劑與土壤環境

除草劑在土壤環境中之命運與分佈，除了受土壤環境因子之影響外，除草劑本身之物理化學性質如水中溶解度、蒸氣壓及化學安定性等，亦有很大的影響。除草劑被人類製造使用後，最終歸於水和土壤環境中。地球表面有四分之三被水覆蓋，土壤僅占地球表面的四分之一，水和土壤通常被認為是兩個分開的生態系統，但在水中懸濁的土壤粒子代表二個系統間的接觸面 (interface)，此一接觸面與土壤和水之間的關係極為密切。因為，實際的狀況是所有的水系統中均包含有懸濁的土壤粒子，而所有的土壤中均包含有或多或少的水分。河水氾濫或土壤沖刷所挾帶的泥沙，最後生成水中沉積泥，可認為是水系統中受到土壤粒子的污染，此一作用可將土壤環境中之除草劑或其他污染化學品帶入水系統中，因此在探討土壤環境與水環境之污染物質，必須考慮到沉積泥與水系統間之反應。除草劑在田間使用，也會受到由雨水或灌溉水而來的土壤水分的挾帶而移動，而擴散在土壤環境中。根據美國農部 (USDA)與環境保護局 (EPA) 之研究，大約 20% 美國農地土壤之水分沖蝕損失，平均每年每公頃超過 8 噸，平均約有 30%低於 3 噸，其餘 50% 則在 3~8 噸之間。

大部分除草劑使用後都歸於土壤中，因此除草劑與土壤之密切關係是不可言喻的。若除草劑可由於化學上或生物上的反應作用而進行礦化作用 (mineralization) 變成二氧化碳成為無毒

物飛散於大氣中，則為吾人所期盼。除草劑使用後絕大部分進入土壤環境中，許多除草劑本身化學結構的因子會影響到該物在土壤中之宿命和流向，包括除草劑在水中之溶解度(solubility)、除草劑在水與有機溶劑間之分配常數(partition coefficient)、除草劑之生物累積作用(bioaccumulation)、除草劑之土壤吸附作用(soil adsorption)、除草劑之蒸發作用(vaporization)、除草劑之光化學安定性(photochemical stability)以及 除草劑之微生物降解作用(microbial degradation)等。總之，許多因子可能影響除草劑在土壤環境中之命運及流向，本章僅就土壤環境中除草劑之吸附、移動、揮發、光分解、氧化還原作用及生物分解做一討論。

三、除草劑在土壤環境中之流向

(一)除草劑依化學結構分類

除草劑化學結構之不同，影響該除草劑在土壤環境中之持久性、被微生物分解之難易性以及化學反應流向。依除草劑之化學結構，除草劑可分為如下幾類。

1. 苯環及酚系衍生物(benzene and phenoxy compounds) 如二、四地(2,4-D)、伏寄普(fluazifop-butyl)、快伏草(quizalop-ethyl)等。
2. 苯胺及醯胺系化合物(aniline and anilide compounds) 如丁基拉草(butachlor)、莫多草(metolachlor)、倍芬尼(benfluralin) 等。
3. 尿素系化合物(urea compounds) 如達有龍(diuron)、愛速隆(isouron)，撲奪草(metobromuron) 等。
4. 氨基甲酸鹽系化合物(carbamate compounds) 如萬隆(vemolate)、殺丹(thiobencarb)、亞速爛(asulam)、稻得壯(molinate) 等。
5. 聯苯醚系化合物(diphenylether compounds) 如甲氧基護谷(chlomethoxynil)、全滅草(chlomitrofen)、復祿芬(oxyfluorfen) 等。
6. 腈系化合物(nitrile compounds) 如二氯苯腈 (dichlobenil) 等。
7. 吡啶系化合物(pyridine compounds) 如畢克爛((picloram)、巴拉刈(paraquat)、依滅草(imazapyr) 等。
8. 三氮阱系化合物(triazine compounds) 如草滅淨(simazine)、草脫淨(atrazine)、普拔根(propazine) 等。
9. 脂肪族系化合物(aliphatic compounds) 如得拉本(dalapon)、氟丙酸(tetrapion)、溴化甲烷(methylbromide) 等。
10. 有機砷系化合物(organoarsenic compounds) 如甲基砷酸鈉(sodium hydrogen methylarsenate, MSMA) 等。
11. 有機磷系化合物(organophosphorous compounds) 如嘉磷塞(glyphosate)、畢拉草(bialaphos)、固殺草(glufosinate-ammonium) 等。
12. 喹嚀系化合物(quinone compounds) 如莫克草(2-amino-3-chloro-1,4-naphthoquinone, ACN) 等。
13. 其他(Miscellaneous compounds) 如西殺草(sethoxydim)、快克草(quinclorac)、環殺草(cycloxydim) 等。

(二)除草劑流向

對於除草劑在土壤環境中的流向，吸附作用扮演一個很重要的角色，一個化學品具特定的化學結構，其吸附在土壤有機物或無機物表面上之強度及吸附量，受到吸附劑(土壤) 與吸著物(化學品) 二者的性質所影響。吸附作用影響除草劑在土壤環境中之移動與揮發，也造成其在土壤環境中殘留的原因之一，除草劑在土壤環境剖面中垂直移動的距離是評估該除草劑污染地下水的一個很好的指標。分解作用是另一個能減少除草劑在土壤中殘留的因子，因為土壤性質與土壤微生物的活性影響分解作用速率，因此除草劑在土壤環境中之消散速率 (dissipation rate)，可影響除草劑在土壤環境中之殘留時間與殘留數量及影響其對地下水污染的可能性。

1.吸附作用

土壤環境非常複雜，包括固相、液相和氣相物質，除草劑在土壤中之吸附是以土壤膠體 (包括無機粘土礦物和有機腐植質) 為吸著劑，以除草劑為被吸著物，並以土壤水分為溶劑，故吸附作用之大小依土壤系統中之 (1)除草劑←→土壤水、 (2)除草劑←→土壤膠體、及 (3)土壤膠體←→土壤水分彼此間之複雜作用而定。

土壤中粒徑較大之坋粒與砂粒在土壤吸附作用上的重要性不大，而較細之粘粒 (無機膠體) 與腐植質 (有機膠體) 均為細微的膠體粒子，具有很大的比表面積 (specific surface area) 和陽離子交換能量 (cation exchange capacity)，而在土壤吸附作用中扮演重要的角色，土壤中膠體越多，對除草劑之吸附力越大。

土壤吸附除草劑之量與吸附力大小，會受到除草劑化合物本身之電荷 (charge)、極性 (polarity) 與偏極化作用 (polarizability) 之影響。因為除草劑被土壤吸附過程中，土壤膠體之吸附活性中心主要是在土壤表面電荷 (土壤膠體表面帶負電荷，但有些膠體帶有部分正電荷)，因此除草劑分子之酸鹼度會影響其在環境 (土壤水) 中之解離度而改變電荷數目，由化合物的解離常數 (ionization constant) 可以測定其電荷，帶電荷的除草劑離子，可因異性相吸的原理，與土壤膠體上之異性電荷互相吸引而被吸附。

非離子型分子之極性 (polarity) 可用偶極子矩 (dipole moment, μ. ，單位為 debye) 來定量，以下式表之 $\mu = e.d$, 其中 e 是電荷量 (靜電單位)，d 為兩電荷中心間之距離 (單位為 Å)。偶極子矩可用以估計水中溶解度，並可用以估算吸附作用潛勢 (adsorption potential, U)，即從偶極之中心所在之表面相距 γ 處之吸附作用潛勢 $U(\gamma) = F\mu$ ，F 為靜電場。因此對非離子型除草劑而言，極性除草劑比非極性除草劑更容易被土壤膠體所吸附。

土壤環境中吸附作用，通常是發生通常是在含有可溶的化學品 (如除草劑) 之溶液(水溶液)與一個固相的表面 (如土壤膠體) 的接觸。如果溶質(除草劑) 的總量增加，則被吸附之量亦增加。試驗的數據顯示，吸附作用一般都很適合二個數學式之一，即 Langmuir isotherm, $C/(x/m) = 1/ab + C/a$，或 Freundlich isotherm, $(x/m) = kC^{1/n}$ ，(x/m)為吸附量，C 為平衡溶液中溶質濃度，a、b、k、

n 均為常數，其中 a 與 k 為表示吸附作用程度的常數，b 與 n 則為闡明吸附作用機構的特性及溶劑（水）所扮角色的常數。Langmuir isotherm 適用於均質的系統(homogeneous system)中，除草劑在純粘土礦物上之吸附作用即可適用此一方程式，但除草劑在土壤或沉積泥中之吸附作用，因為是在大小土粒及複雜腐植質構成之非均質系統 (non-homogenous system) 中，故不能適用 Langmuir isotherm，而必須以 Freundlich isotherm 來解釋。

除草劑被吸附在土壤中之結合狀態，依除草劑化合物化學結構性質可分為 (1)陽離子鍵、(2)陰離子鍵、(3)陽離子－偶極鍵(cation－dipole bond)及配位鍵 coordination bond)、(4)氫鍵 (hydrogen bond)、(5)凡得瓦引力(Van der Waals force)等五種。

2.移動作用

除草劑在土壤環境中的移動有兩種不同的方式，即擴散作用 (diffusion) 和整體移動 (mass flow)。擴散作用是由於除草劑分子內的熱能所產生的逢機性分子運動 (random molecular motions)，包括振動和碰撞。此種方式的移動會逐漸使除草劑分子在系統中由集中高濃度成為均勻的分佈，因此其淨移動的結果是由高濃度的地方向低濃度的地方移動。整體移動是由於外力的影響所造成的除草劑分子移動，其主要之外力為水。除草劑溶於水中被水分帶走；或除草劑吸附在土壤的固態礦物或有機成分表面而被水分連同土壤的固態礦物或有機成分一起沖移所導致的除草劑移動，均為整體移動。除草劑在土壤環境中之移動程度，為此二種方式之移動之總和。吸附在土壤粒子上之除草劑可經由地面逕流(run off)，導致土壤表面沖刷而使除草劑隨著土粒移動，或由於機械的耕犁而使除草劑在土壤環境內作有效的重新分佈，或由於細微土壤粒子隨水分滲漏而使除草劑隨著土壤剖面上下移動。水的流動方向和速率，大大地影響除草劑在土壤環境中之整體移動。

除草劑施用後，降落於土壤表面上，須有足夠的水分將其溶入土壤環境中，其先被土壤吸附，然後漸漸隨水分移動。在質地較粗之土壤中，水分之流動速率較快；反之，在質地較細之土壤中流動速率較慢。因此，在考慮除草劑在土壤環境中之移動時，須先知其淋洗效率 (leaching efficiency, L)。除草劑在土壤環境中被淋洗而向下移動，其垂直面各層次之濃度顯示呈一波峰狀，吸附常數 k 值越大，最大濃度移動之深度越小而波峰較窄(移動較集中)；而 k 值越小，則最大濃度之移動深度越大而波峰較寬(移動較散漫)。故吸附常數 k 值，亦為影響除草劑污染地下水之重要因子。

將除草劑愛速隆(isouron)置於土柱上端，以將近四百毫米之水柱，用每小時 8 毫米水柱之速率淋洗，以探討愛速隆在土壤中之移動、吸附及脫附作用。結果顯示，在斗六砂壤土、台中壤土與岸內壤土之土柱中，分別有 87.8、69.2 與 52.2 % 之愛速隆在土柱中移動，但移動深度不大，大都在三十公分以內(Wu *et al.* 1989)。

3.揮發作用

除草劑在使用中及使用後，由於揮

發的損失，其大小可能從少量至大於50%之範圍。其影響不僅是對控制目標植物之有效性明顯的減少，而且造成非目標區域的人畜傷害和作物藥害。除草劑之製劑、用法、粒徑大小等，均會影響噴出之除草劑飛散或飄浮於大氣中之時間，使部分除草劑受氣象因子之作用而損失，其餘則漸因重力而下落於土壤環境中。除草劑到達土壤環境後很快的被土壤所吸附，故除草劑在土壤環境中進行揮發作用時，要先自土壤表面脫離，在整個揮發作用中涉及除草劑在三個環境中之平衡，即

	(1)		(2)		(3)	
土壤表面	→ ←	土壤水中	→ ←	土壤空氣中	→ ←	大氣中

影響平衡(1)之因子包括除草劑方面(如水中溶解度及除草劑與有機物之作用等) 及土壤方面 (如有機物含量、pH、水分含量、表面積、粘土之形態及含量等) 的物理化學性質。故不同除草劑與不同土壤所組合的系統中，在達成平衡時，其溶液中之除草劑濃度不同。在平衡(2)中，除草劑化學品之蒸氣壓及土壤溶液中之化學成分會影響平衡達成時溶液中之除草劑濃度，對於以鹽類存在於土壤溶液中之除草劑如達諾殺 (dinoseb)，因鹽類沒有蒸氣壓而使平衡完全移到溶液中。除草劑化學品之蒸氣壓及水中溶液濃度對其在土壤中之揮發性有很大的影響，但對於化合物如巴拉刈(paraquat)等具有正電荷而被強力吸附在土壤的負電荷中心時，則無法期望其揮發。除草劑之蒸氣密度 (vapor density) 與土壤表面積或土壤有機物含量，均呈相反的關係，顯示除草劑之揮發作用須克服土壤表面之吸附作用。除草劑在土壤中之蒸氣密度與除草劑在土壤中之濃度有正相關，故除草劑剛施用時之揮發速率最大。

土壤環境中水分會與除草劑競爭吸附中心，故水分之存在使除草劑之揮發損失較多，也因此會增加除草劑的有效性。故土壤水分含量具有雙重意義，基於揮發作用具有污染性的觀點上，將土壤保持乾燥會減少或停止揮發，基於除草效果的觀點上，土壤需要有一些水分，以便取代或溶解吸附中心上的除草劑，使其發揮效果。另外，溫度也會影響土壤環境中除草劑之溶解度與蒸氣壓及影響土壤自身之物理化學性質，而影響除草劑從土壤中之揮發。一般的情形是，溫度增加則有更多之除草劑自土壤中揮發。例如，對除草劑丁基拉草 (butachlor) 之研究顯示，溫度提高會降低該除草劑在土壤環境中之吸附作用。

4.光分解作用

除草劑吸收光能足以破壞其化學結構時，即進行光分解反應。短波長之光線其能量較大，大部分太陽光放射出之紫外線在波長 285 nm 以下者，均被地球大氣層上之臭氧層所吸收，故除草劑只能吸收波長 285 nm 以上陽光來進行光分解反應。但今日由於空氣污染造成臭氧層被破壞，而使更短波長之光亦長驅直入，另當別論。光能被除草劑分子吸收後，可能發生之轉變為：(1) 被吸收之光能轉化成熱的型式而發生傳導，使整個系統之溫度提高，但未發生任何變化(最普通之情況)；(2) 被吸收之光能使除草劑分子分解成原子或自由基 (free radical)，而以激動狀態存在；(3) 被吸

收之光能由低能階之基態 (ground state) 被激發至高能階之激態，激態分子易與其他分子發生碰撞而將能量傳給對方而發生化學反應；(4) 被激發之分子漸回到基穩狀態而產生螢光；及(5) 被激發後失去電子，形成離子狀態。

影響光分解作用速率之因子，包括光源及其強度、有機化合物之物理化學性質等。除草劑分子對光的敏感度，或土壤環境中存在有如光敏感劑 (photosensitizer) 之類的物質，均影響除草劑在土壤中之光分解。環境中原來很穩定的化合物，由於光敏感劑之存在，使得原來不發生的光分解作用，在光照下發生了光反應。光敏感劑的作用，是該物質在接受光照後很容易吸收光能而轉變成激動狀態，在激動狀態時之能量足以使化合物分解，亦即光敏感劑是一種扮演能量轉移的角色，本身並未參與化學反應。除草劑在土壤環境中之光分解作用具有潛在之重要性，但其確切的重要性不得而知。因為光分解之研究通常均在液態溶劑中曝露於高強度光線下 (UV 燈) 進行，而在土壤環境中由於光能被其他土壤成分吸收，顯著的減少能量達到化合物分子之能力，此與直接照射高強度光線之情況有所不同。

根據研究，除草劑丁基拉草在平板上以薄層狀直接用波長 254 nm 之紫外燈照射，其光分解速率很快，半衰期 (化合物分解一半所需要之時間)約為 1.5 小時 (Chen and Chen 1978)，但在水溶液中以波長 254 nm 之紫外燈照射及以陽光照射，其分解半衰期約為 0.8 及 5.4 小時 (Chen *et al.* 1982)，而在水溶液中之光分解產物均比直接照射光線更複雜。以紫外燈照射及以陽光照射，其分解產物不同。除草劑 naproanilide 在水中之光分解速率很快，半衰期在酸性、鹼性及中性下分別為 1.1、1.4 及 1.6 小時(盧 1984)。除草劑達有龍 (diuron) 之光分解速率很慢，在波長 254 nm 之紫外燈下，經過 56 小時之照射，只有 27% 被分解(王等 1977)。除草劑嘉磷塞 (glyphosate) 在薄膜狀態下及在水溶液中以波長 254 nm 之紫外燈在距離 10 公分處照射，半衰期均為八小時，在八十小時以後在水溶液中之分解比在薄膜狀態下為快速(Chen *et al.* 1989)。除草劑殺丹 (benthiocarb) 經 32 小時之光分解後，有九種以上分解物產生，而大克草 (dacthal DCPA) 之半衰期為 5 小時，在 48 小時內出現五種以上之分解產物(Chen *et al.* 1976)。

5.生物分解作用

除草劑在土壤環境中之命運和流向，受到土壤微生物之影響很大。土壤微生物族群構成一個生化上的複雜系統，使得它在土壤環境中有能力組合成奇特的酵素，而能分解大多數之化合物。建立除草劑在土壤環境中之分解作用途徑是很困難的。目前完全明瞭其代謝途徑 (metabolic pathway) 者，只有很少數幾種。除草劑之代謝命運通常是用個別有效的微生物在模擬系統中之結果來決定，但是在模擬系統中所觀察之作用機構，經常與在土壤環境中所觀察者不同。

土壤微生物族群之活性常受到土壤酸鹼度、有機物含量、水分含量及通氣度之影響，微生物之活性影響其在土壤環境中分解除草劑之能力。除草劑在土壤中之微生物分

解之研究很多，綜合其主要的生化反應包括烷化作用 (alkylation)、脫烷作用 (dealkylation)、胺基或酯水解作用 (amide or ester hydrogenation)、脫鹵作用 (dehalogenation)、脫氫作用 (dehydrogenation)、脫鹵化氫作用 (dehydrohalogenation)、氧化作用 (oxidation)、還原作用 (reduction)、氫氧作用 (hydroxylation)、環裂作用 (ring cleavage)、醚裂解作用 (ether cleavage)、縮合作用 (condensation) 及共軛鍵形成作用 (conjugate formation) 等。

由於土壤微生物種類繁多，因此除草劑或絕大部分有機化合物在土壤環境中之分解及消散，均屬於此種生物分解作用。

6.滲入地下水層

有許多模式可用以推測除草劑污染地下水之可能性。由於考慮到除草劑的分解、揮發，及土壤與氣候因子對除草劑在土壤環境中之動態的影響，以數學模式模擬除草劑(或其他農藥或有機化合物)在土壤環境中之動態已受重視。這些模式已寫成電腦程式，例如行為評估模式(behavior assessment model, BAM)及地下水污染潛勢模式(groundwater pollution-potential model, GWP)，用以評估多種化合物在一相同環境下之相對動態，而過濾篩選可能污染土壤環境的化合物。使用 BAM 模式時有幾項主要的假設：(1)土壤性質均一，其水分含量及其他理化性質為一常數；(2)可以有機碳分配係數描述，化合物在土壤溶液和固相間之分配；(3)可以亨利定律常數描述，化合物在土壤溶液與氣相間之分配；(4)化合物之分解為一次反應，其在土壤環境中之消失可以半衰期表示之。使用 GWP 模式時亦須有幾項主要假設：(1)化合物一次施用於表地表，且被一固定之排水速度(J_w) 向下淋洗；(2)化合物之分解為一次反應；(3)化合物之吸附行為是可逆之線性平衡關係；(4)土壤剖面依序分為三層：(a)表層(surface zone，表面至根群深度 L)；假設此層之化合物分解係數為一常數。(b)過渡層(transition zone，根群深度 L 至地下水深度 H)；假設此層化合物之生物分解係數與土壤深度呈指數函數遞減之關係。(c)底層(residual zone，地下水深度 H 以下)；此層之分解係數為一殘餘定值。經由此模式計算，可得知某一化合物到達某一特定深度之土層時，所需之時間和到達該土層時化合物殘留量之百分比。

除草劑污染地下水之可能性以 BAM 與 GWP 二種數學模式模擬，在台灣土壤及氣候條件下之實驗數據參數及模擬結果如下所述。除草劑護谷(nitrofen)之模擬結果顯示，其在鹿港坋質粘壤土及平鎮粘土中均不會導致地下水污染(陳 1991)。除草劑全滅草(chlornitrofen)在陽明山壤土、平鎮坋質粘壤土以及岸內坋質壤土中，亦均不至於污染 3 公尺以下之地下水層(顏等 1995)。

醯胺系除草劑拉草(alachlor)、丁基拉草(butachlor)、滅多草(metolachlor)與雷蒙得(propachlor) 在桃園石門黏質壤土、南投埔里壤土及高雄楠梓砂質壤土三種土壤中，污染地下水可能性之評估(張 2001)，結果顯示其以 BAM 模式模擬，四種除草劑在三種土壤中之相對移動性皆為

雷蒙得 > 拉草 ≒ 滅多草 >>丁基拉草

此與實際土柱淋洗試驗結果大致吻合。其 GWP 模式模擬結果顯示，丁基拉草的移動性不大，在三種土壤中分別需要 82 - 96 年才能達到 3 公尺之地下水層，屆時其在土壤環境中殘留量為零，故其對地下水層污染之可能性甚低。而雷蒙得在高雄楠梓砂質壤土及南投埔里壤土分別需要 0.44 及 1.2 年就能達到 3 公尺之地下水層，達到 10 公尺之地下水層亦分別僅需要 2.40 及 4.0 年，屆時其在土壤環境中殘留量尚有 38%(石門黏質壤土)、2.7%(埔里壤土)與 52%(楠梓砂質壤土)。因其在土壤中之移動速率較快，殘留量較高，因此在臺灣地區氣候條件下，可能導致對地下水污染。

四、除草劑在土壤中之消散

除草劑及許多有機污染物之分解產物亦具有殘毒性的，因此最理想之狀況，係土壤中殘留之污染物最後均礦化為無毒之無機物，如 CO_2，N_2 或 H_2O 等。在討論除草劑或有機污染物在土壤環境中之分解與殘留問題時，應進一步探討其礦化作用及其作用速率，至最後成為無毒之無機化合物逸出土壤，才算是除草劑或有機污染物在土壤環境中完全消失。

(一)土壤呼吸作用

無論動物或植物都有呼吸作用，土壤環境中之大小生物群尤其是難以數計的微生物，也無時無刻不在進行呼吸作用，當呼吸作用進行時會消耗氧氣產生二氧化碳。自另個角度看，土壤係一自然體，包被於地殼的外表，由岩石風化而來的細碎礦物質、腐爛的有機質、土壤水分、土壤空氣以及大小生物群混合而成，具有一定層次，為植物生長的媒質。由於大小生物群，尤其是微生物之活動，使得土壤具有一些特性：包括(1) 土壤會呼吸－消耗氧氣產生二氧化碳；(2) 土壤會消化－將進入土壤中之動植物殘體分解或重新組合成新的物質；以及(3) 土壤會排泄－將有毒物質分解成簡單之氣體排入大氣或溶解於水中排出土壤。

當除草劑進入土壤環境中，其會影響土壤微生物之形態、數目及活性，包括正面的促進或是負面的抑制，進而影響化合物本身被土壤微生物分解及利用之情況。土壤環境會有呼吸作用，土壤實際上是一個會呼吸的生命體，土壤環境中難以數計的微生物隨時綿密的進行呼吸，對自然界有機物質的代謝與能量的轉換循環，功不可沒。土壤呼吸作用 (soil respiration)，亦即土壤環境中產生二氧化碳及消耗氧氣之作用，通常用以觀測除草劑或其他有機污染物對土壤微生物相之效應。土壤微生物之活性受到抑制則土壤呼吸作用減少，土壤微生物之活性受到促進則土壤呼吸作用增加。以土壤中之硝化作用 (nitrification) 或氨化作用 (ammonification) 為指標來測定土壤微生物之活性，是一種很靈敏而且對某些特定微生物活性之測定具有專一性，相比之下似乎土壤呼吸作用是一種既不靈敏又不具有專一性的生物活性指標。但是在了解總體土壤中之所有微生物之活性，以探求土壤中總體微生物相關反應，例如包括氨化作用與硝化作用等及其他反應之微生物之活動，土壤呼吸作用之測定是很有用的。比較之：

氨化作用：由於微生物作用使有機

態氮轉變為氨之作用

多種微生物分解

有機態氮 ——→ 氨態氮(無機態氮)

硝化作用：由氨轉變為硝酸之作用 NH_4+－ (亞硝酸細菌) → NO_2^-— (硝酸細菌) → NO_3

土壤礦化作用：由有機物礦化作用而放出 CO_2

土壤中之所有微生物

有機物 ——————→ CO_2

礦化作用

土壤中之硝化作用、氨化作用與土壤礦化作用，均可使除草劑在土壤環境中消失。

在自然界中，二氧化碳可被綠色植物吸收以供進行光合作用，或在海洋表面交換氣體或溶解成碳酸鹽沉澱至海底，而從大氣中移除。農業生產中作物進行光合作用可減少大氣中之二氧化碳，但農作物本身也有呼吸作用會放出二氧化碳。以田間試驗探討水稻在不同的生長期與二氧化碳釋放量的關係(Chen *et al*. 2001)，結果顯示：土壤呼吸作用與水稻光合作用間之淨二氧化碳釋放量，受水稻植株大小與氣溫影響很大。試驗期間為第一年八月至第二年七月，二期作水稻 (八月至十二月) 之插秧期與一期作水稻 (三月至七月) 之成熟期為一年中溫度最高之時期，對二期作而言，插秧初期植株小，故雖在高溫環境其二氧化碳釋放量少。反之，一期作接近收獲期，植株高大，加以在高溫環境，故對二氧化碳之釋放量影響很大。綜合言之，一期作期間之水稻植株之二氧化碳釋出量較二期作期間為多，而水稻田土壤之呼吸作用則一期作與二期作期間無顯著差異。純粹土壤之呼吸作用則在二期作初期及一期作後期，氣溫較高時之釋出量較大。

土壤本身係不斷的在進行呼吸作用，但當除草劑進入土壤環境後，可能使土壤呼吸作用增加，表示此除草劑可以被微生物分解並作為養分利用，也可能反使土壤呼吸作用減少，表示該除草劑對土壤微生物是一種有毒物質，可以殺死或抑制土壤微生物生長。另外，當除草劑進入土壤後，初期使土壤呼吸作用減少，經過一段時間後土壤呼吸作用反比除草劑未進入土壤環境前更大 (即測出之二氧化碳量更多)。此種除草劑暫時減少土壤呼吸作用的現象，是因初期有部分土壤微生物被除草劑殺死或抑制，殺死越多，則使殘存之微生物族群以死亡微生物組織當作倖存微生物繁殖的基質，因其養分充足，故最後在土壤中有較大的微生物活性而有較多的二氧化碳產生。有些有機污染物在高濃度下會抑制微生物之生長，而在低濃度下反而刺激生長。因此，除草劑在土壤中之殘留量，亦會影響土壤呼吸作用。

(二)除草劑化合物持久性

除草劑在土壤環境中之安定度，可分為三類，即持久性、中等持久性及非持久性。除草劑在土壤中之持久性受到總體環境因子之影響，包括氣候因子如溫度、雨量、陽光等，及土壤條件如酸鹼度、氧化還原狀態、質地、有機物含量等，其他如微生物活性以及地形、地勢、植被及水之移動等，亦均會影響除

草劑化合物持久性。除草劑持久性之意義，除了指該有機化學品受到氧化還原反應、光分解作用及土壤微生物分解等而產生化學變化，由甲物轉變成乙物或丙物等外，尚包括物理性的變化，如揮發、移動或被植物吸收等，以及自甲地移至乙地或丙地的情形。後者之情況，就甲地而言該除草劑不具持久性，但就整個環境來說，仍然是對環境污染，而且更進一步擴大其污染範圍。

探討殺草劑護谷(nirofen)在不同溫度及水分含量之土壤中之持久性，結果顯示護谷在鹿港系坋質粘壤土與平鎮系黏土中依循一次動力模式之消失曲線(陳等 1993)。一次動力模式(first order kinetics)亦即 $-dC/dt = kC$ (其中 C 為護谷濃度，k 為消失係數，$-dC/dt$ 為護谷隨時間減少之濃度)。在鹿港系土壤中，護谷持久性較高，而在平鎮系土壤中則顯示在土壤中殘留量較少(陳等 1993)，且其消失曲線分為二階段(0-2 天及 2-35 天)依循一次動力模式。在鹿港系土壤中之持久性受土壤水分之影響不顯著，但在平鎮系土壤中則較顯著。尤以在 30% 田間容水量之含水量時，護谷之持久性極長。又該研究顯示，土壤溫度越高時，護谷之持久性越低，半衰期越短。而不論在鹿港系或平鎮系土壤中，護谷之移動性均很慢，除草劑護谷不致污染到地下水層。

以放射活性追蹤技術探討除草劑 2,4-D、嘉磷塞及和巴拉刈在臺灣四條河川(即北部之新店溪、東部之立霧溪、中部之大肚溪及南部之二仁溪)水樣品中之消失速率，顯示在各水樣品中不論在高濃度或低濃度下之消失速率差異不大，對嘉磷塞而言，五十六天後在高濃度 (100 mg L^{-1}) 下，在四條河川水樣中均有半數放射活性消失，而在低濃度下(100 g L^{-1}) 除在新店溪水樣中殘留較多外，在其他溪水樣品中僅有約 20 % 之放射活性保留於水中。巴拉刈則較安定，在五十六天後，在各河川水樣品中均約有 80 % 殘留於水中(Wang *et al.* 1994)。探討除草劑愛速隆在斗六砂壤土、台中壤土與岸內壤土三種台灣旱田土壤中之持久性，顯示愛速隆在土壤中之分解作用符合一次動力反應，且其分解速率與土壤水分與溫度之關係密切，在殺菌土壤中半衰期為五至七個月，而在不殺菌土壤中則約僅二個月(Wu *et al.* 1991)。探討殺草劑愛速隆在污水中及河水中之持久性顯示在污水樣品中四個月有 25.5 % (起始濃度為 0.1 ppm 時) 至 31.3 % (起始濃度為 0.01 ppm 時) 經礦化作用成為無機物，而在河水樣品中則僅約 7 %礦化。在污水樣品中愛速隆已經分解為代謝物，尚未礦化者有 23.2 % (起始濃度為 0.1 ppm 時) 和 30.6 % (起始濃度為 0.01 ppm 時)，河水樣品中則分別為 25.7 % (0.1 ppm) 和 26.7 % (0.01 ppm)(Wang *et al.* 1991)。

進一步探討三種水田除草劑丁基拉草、殺丹與甲氧基護谷在臺灣北部(宜蘭縣)、中部(桃園縣)及南部(雲林縣)水稻田中之殘留量，及其對鯉魚危險度之評估，顯示絕大部分稻田排水之農藥殘留量均在安全濃度範圍內，且對鯉魚之危險度很低(王等 1991)。

除草劑在環境中之安定度越大則其殘留期越長，在自然界生態系統中，除草劑終歸會被分解或轉變而消散，但時

間較長。

五、結語

台灣農業自1963年除草劑才正式由政府登記而推廣使用，其後不斷的增加除草劑種類及保護對象作物項目。由於經濟之發展，農村人口外移，農業人力不足，因此除草劑漸次大量被使用。除草劑被使用後，絕大部分進入土壤環境中，其在土壤環境中受到土壤性質之影響，因此，除草劑可以被土壤粒子吸附，亦可能隨著灌溉水或雨水而移動至他處。部分蒸氣壓較大之除草劑可揮發至大氣中，或在環境中進行氧化作用或被太陽紫外線之照射而分解，但絕大部分除草劑是被土壤或水中之微生物所分解。微生物之分解，將有毒之除草劑化合物進行礦化作用，而轉變成無毒之無機化合物如二氧化碳、水、氮氣等等，在此過程中，吸入氧氣呼出二氧化碳，因此稱為土壤呼吸作用，其呼出之二氧化碳再提供綠色植物進行光合作用，利用太陽能而生成葡萄糖，將光能轉化為化學能，提供所有生物之能量來源，而使自然生態循環不息。

六、參考文獻

王一雄、王子正、陳玉麟。1977。除草劑達有龍在土壤中及光線下分解之研究。中國農業化學會誌 15: 23-31。

王一雄、鄭昌奇、劉玉雪、江漢全。1991。稻田水中三種除草劑殘留量及其對鯉魚危險度評估。中國農業化學會誌 29:195-202。

陳信偉。1991。克氯苯及護谷在環境中之消失與移動。碩士論文，國立台灣大學農業化學研究所，民國 80 年 6 月。

陳信偉、謝亞寧、王一雄。1993。除草劑護谷在環境中之消失與移動及其對地下水污染性評估。中國農業化學會誌 30:18-27。

張秀齡。2001。醯胺類除草劑在不同土壤中的吸附、降解及移動之研究。碩士論文，國立台灣大學農業化學研究所，民國 90 年 6 月。

顏瑞泓、張富翔、王一雄。1995。除草劑滅草在環境中之移動與消失。中華民國雜草學會會刊 16(2):88-95。

盧啟信。1984。除草劑 Naproanilide 在水中光分解之研究。碩士論文，國立台灣大學農業化學研究所，民國 73 年 6 月。

Chen, Y.L., C.H. Fang, L.J. Chen and Y.S. Wang. 1976. Photodecomposition and some behavior of herbicides benthiocarb and DCPS in soils. J. Chinese Agric. Chem. Soc. 14: 59-67.

Chen, Y.L. and C.C. Chen. 1978. Photodecomposition of a herbicide, butachlor. J. Pest. Sci. 3:143-148.

Chen, Y.L., C.C. Lo and Y.S. Wang. 1982. Photodecomposition of the herbicide butachlor in aqueous solution. J. Pest. Sci. 7: 41-45.

Chen, Y.L., R.H. Yen and Y.S. Wang. 1989. Photodegradation of the herbicide glyphosate. Weed Sci. Bull. (ROC) 10:1-6.

Chen, H.W., J.H. Yen, R.S. Chung, C.H. Lai, S.S. Yang and Y.S. Wang. 2001. Carbon dioxide flux density in cultivated rice paddy field. Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(B) 25(4): 239-247.

Wang, Y.S., H.S. Tsai, Y.H. Su and Y.L. Chen. 1991. Mineralization and

metabolism of the herbicide isouron in aqueous environment. J. Pest. Sci. 16:19-25.

Wang, Y.S., J.H. Yen, Y.N. Hsieh and Y.L. Chen. 1994. Dissipation of 2,4-D, glyphosate and paraquat in river water. Water Air Soil Poll. 72:1-7.

Wu, T.C., Y.S. Wang and Y.L. Chen. 1989. Movement, adsorption and desorption of the herbicide isouron in soils. J. Pest. Sci. 14:437-442.

Wu, T.C., Y.S. Wang and Y.L. Chen. 1991. Degradation of isouron in three upland soils in Taiwan. J. Pest. Sci. 16:195-200.

雜草學與雜草管理
第九章　除草劑作用模式與機制
117-142

第九章　除草劑作用模式與機制

王慶裕
國立中興大學農藝學系

一、前言

化學除草劑自 1970 年代起開始快速發展，此對於全世界之農業生產有其重大貢獻。然而化學除草劑為何會造成植物與雜草的傷害及死亡，其基本原理必須加以了解。在防除與管理日漸增多的除草劑抗性或耐性雜草時，也必須了解各種除草劑之作用模式(mode)與機制(mechanism)才能有效解決問題。另一方面，雖然依據作用機制設計出除草劑分子為研發除草劑之理想方式，但目前仍多以逢機性設計分子再經由除草劑活性篩選方式從中尋找適當的除草劑分子，因此發展除草劑過程中有些藥劑可能是在研發之後才逐漸確立其作用機制。此外，除草劑除了其主要作用機制之外，也不要忽略其二次作用對於植物之影響。

二、除草劑之作用模式

有關除草劑作用模式(mode of action)其定義是指除草劑由施用點，經由植物吸收進入植體後轉運，接觸目標位置後作用，以及後續所引發一序列生理生化反應造成植物受傷或死亡的一連串事件。而作用機制(mechanism of action)則指除草劑分子與目標位置(target site)之間的相互作用，及其所引發的生理生化反應。因此作用模式包括作用機制。

(一)除草劑之吸收

1.葉面吸收

一般推測表皮層厚薄是影響表皮吸收的主要原因，但少有證據能夠印證。比較 2,4-D (2,4-dichlorophenoxy acetic acid)在 7 個植物物種分離的表皮膜內之移動，發現藥劑移動與表皮層厚薄無絕對關係，而是與表皮層之成分有關。表皮厚度與除草劑穿透力只能建立在同一物種的葉子上。例如，同一植物物種其年輕葉片吸收外來物質較老葉快，因為年輕葉片的表皮膜較薄。另一方面，在個體發育過程中，不同厚薄的表皮膜，其化學組成亦會受影響。因此，探討除草劑的吸收，表皮的厚度只能當參考。更進一步比較同一片葉子上，其表皮膜並無均勻一致的厚度，除草劑的沉積是在細胞間凹下的栓塞處。表皮膜層有一些孔洞，除草劑可能經由孔洞進出，當分子半徑及分子形式改變(如：酯化)，將使問題變得更複雜。

高親脂性的除草劑能在表皮膜內滯留，或與表皮膜結合，例如，MCPB (4-(4-chloro-2-methyl-phenoxy)butanoic

acid)滯留在表皮膜層較 MCPA ((4-chloro-2-methyl-phenoxy) acetic acid)多，因其親脂性較高。另外，當 2,4-D 原本以酸的形式進入表皮膜，其會以酯類形式被表皮膜層保留，因此，表皮膜具有暫時保留除草劑之特性。若葉片氣孔打開時，其可提供除草劑快速進入葉片組織的路徑，而不需穿透表皮膜。通常除草劑在陸生植物葉片表面之量以上表面多，因為大多數的氣孔在下表面。主要影響除草劑進入氣孔是小藥滴之表面張力，表面張力小才能進入葉片之氣孔。

除草劑在葉表面乾涸後，會形成結晶或不規則狀。結晶化是個放熱過程，此意味著如果除草劑在葉表面形成結晶，其能量將使除草劑由結晶狀還原為溶液。雖然如此，相信防止結晶形成能使葉面有效吸收。高相對溼度亦有助於除草劑吸收，因除草劑沉積物表面會保留一些水，但前提是除草劑本身要適度溶解於水中。

環境影響除草劑穿透葉片可歸因於小藥滴飄散與沉積形式或植物表皮膜層之厚薄、組成分及物理結構、以及水分潛勢及葉片組織的生理狀態。在乾旱下發育之植物，其角質層透水性較差，極性溶質亦不易穿透。當大氣的相對溼度與土壤水分含量皆較高時，除草劑吸收量較大。其可能的機制包括(一)高相對溼度下，沉積形式保有較多的水分，其可使除草劑維持此形式以利吸收。(二)相對溼度高，表皮膜內親水性孔度變大，有助於除草劑分子進入。(三)相對溼度高，使氣孔打開，使除草劑由氣孔穿透。

溫度影響除草劑吸收與相對溼度因素相比，較無一致性。雖然許多報告指出高溫可增加葉面吸收，但是有些則表示與溫度無關，甚至有學者表示高溫會減少吸收。植物物種、溫度、環境間的交互作用使空氣溫度這項影響因子難以解釋。

2.根部吸收

由根部吸收除草劑其途徑與葉面吸收除草劑大不相同。雖然較老的根部組織覆蓋著一層類似軟木的一層細胞，但是其他的根部細胞沒有角質層。除此之外，根的內皮排列著一層類似軟木層的卡氏帶(Casparian strip)組織，它可以有效的區隔細胞表皮與皮層的連續水層。

根部各部位皆可以吸收除草劑，但是大部分的證據認為最多的吸收是在根尖部分。在此區域之卡氏帶最少，且大部分水和離子均在此區域進入。研究指出，棉花的根部內皮層不是 diuron 除草劑進入木質部的重要阻礙(Strang and Rogers 1971)。根部對除草劑的吸收，在初期 5~30 分鐘是相當迅速的，其後則緩慢吸收(Moody 1970, Carlson *et al.* 1975, Morrison *et al.* 1975, Barrett and Ashton 1981)。初期的吸收通常是不依賴新陳代謝步驟，而是表現根部組織的滲透作用；反之，後期則是與新陳代謝活力有關。一些研究指出，蒸散作用與根部吸收除草劑的速率二者間沒有相關性(Moody 1970)，然而另外有研究顯示，除草劑的吸收會隨著蒸散作用的上升而增加(Bukovac 1976)。根部施用的除草劑可藉由植物在土壤中的的根、種子與莖吸收。在土壤中成長的莖部組織可能會覆蓋一層薄的角質層，但是因為在濕潤土壤環境中，角質層無法像在大氣中葉

片的角質層一樣，能夠有效的阻礙除草劑進入。因此，若土壤中除草劑施用鄰近這些組織，也許將導致植物毒害。

通常細胞壁對於除草劑的通透有些許抑制。研究者推測巴拉刈(papraquat)除草劑會與抗除草劑的 *Conyza canadensis* 細胞之細胞壁組成相結合。原生質膜是一個高度親脂性的脂層，在結構與特性上不同於細胞壁。典型的細胞膜有兩層磷脂質位於相反的兩端，在內部是碳氫端，外部則是親水性端。除草劑通過質膜可藉由擴散作用或活化的攜帶體蛋白的轉運。證據顯示，關於大部分除草劑的轉運，前者顯然比後者重要。

近年的研究指出，具中性及親水性混合物的吸收是依據其在細胞膜中配置的能力，而不是溶液的 pH 值。根據草脫淨(atrazine)能夠相當快速的穿透小麥分離的原生質體，以及在活的或死的小麥根部均能迅速吸收，推論原生質膜對於草脫淨進入植物細胞而言並未明顯阻礙(Darmstadt *et al*. 1983)。關於中性及親脂性分子的吸收過程則不需要能量的參予，推論是因為這些混合物通透質膜只需藉由滲透。此外，弱酸的吸收則與溶液的 pH 值有關聯，在低 pH 值時，吸收較快。弱酸性除草劑可以解離或非解離的形式存在，解離與否是由溶液的 pH 值和 pKa 值所控制。在低 pH 值時，有較多的除草劑分子將以未解離形式存在。由於未解離分子對於細胞膜之通透性大於解離之離子形式，因此可以促進吸收。

當植物組織或細胞接觸到中性或親脂性除草劑時，除草劑會迅速滲入組織，因此組織內、外的濃度皆相等。此後當有更多的除草劑進入組織或細胞時將導致除草劑在細胞內累積。親脂性除草劑的累積通常是因為其配置在組織內脂質部分。弱酸性除草劑會表現類似的行為，但其累積的程度更大，內部濃度甚至比浸漬溶液的濃度高出十倍以上(Devine *et al*. 1993)。

關於除草劑在植物細胞中的累積尚有其他幾個機制。例如除草劑有效地結合至組織上可使其由溶液中移走，並導致組織中有明顯的除草劑濃度。許多除草劑會表現此種非特定的結合，而且與其作用機制無關，通常此種結合是可逆的。另外一個促成除草劑在組織中累積的機制是將其新陳代謝轉換成更具極性的產物。最後，一些行為表現不似弱酸之極性分子(如嘉磷塞及 amitrole)，其進入細胞質之速度相當緩慢，其吸收不受 pH 影響且在組織中不累積；然而，進入植物組織後，其流出則相當緩慢。

(二)除草劑之轉運

除草劑的作用模式包括除草劑分子從施用點進入到植物中的目標位置作用之過程，而有些目標位置可能離除草劑進入點只有 1 或 2 層細胞的距離，例如：光合作用抑制型除草劑，除草劑進入植體後最先到達葉綠體內作用，而不需要進行長距離的轉運(translocation)；然而對於其他除草劑而言，長距離的轉運卻是很重要的。

萌後型除草劑可進行最長距離的轉運，當施用於多年生雜草時，除草劑需要從地上部嫩芽(分生組織)轉運到根部及地下莖；而於土壤中施用光合作用抑制劑時，此除草劑必須能從根部轉運到葉部才能使其作用。此外，較短距離的

轉運也很重要，例如：除草劑從葉片頂端分生組織或從成熟的葉部組織到達幼葉。短距離轉運為細胞與細胞間的擴散，或利用原生質聯絡絲，或者是細胞間隙中進行轉運，除草劑在葉或根部組織中短距離的轉運不太可能產生阻礙。

除草劑基本上可分為韌皮部及木質部轉運兩部分論述，除草劑轉運包括韌皮部移動、木質部移動、往兩側周圍移動或固定不移動。有些除草劑在韌皮部轉運多於木質部，有些除草劑轉運則多在木質部轉運，但是所有除草劑都能夠在兩系統中移動轉運。

1.韌皮部之轉運

一般除草劑在韌皮部的轉運係藉由被動方式，而轉運的方向是依韌皮部溶質的流動方向而定，然而，除草劑分子到達韌皮部的途徑並不清楚，已知除草劑分子可以不用進入葉部細胞的細胞質，而從細胞間隙直接進入韌皮部。然而，主要在韌皮部中轉運之除草劑能累積在其他細胞，這些除草劑也應該會進入葉片的表皮細胞及葉肉細胞，除草劑也可以從這些細胞中流出，且在葉細胞中反覆進出，直到除草劑進入韌皮部篩細胞中且離開葉部。存在非原生質的除草劑從葉肉細胞轉移到韌皮部，其對於除草劑在韌皮部和木質部間的交換可能有些關聯，蔗糖是藉由篩細胞上的蔗糖攜帶體蛋白進入韌皮部，但是對於除草劑而言則無此攜帶體蛋白，因此除草劑進入韌皮部可能屬於逢機性事件。

雖然所有的除草劑均能夠在韌皮部轉運，但是會有少量除草劑流出韌皮部進入木質部，且隨著木質部中的水流分配，因此，觀察發現嘉磷塞移動經過木質部中莖部環狀剝皮處時，會由韌皮部轉運出葉部(Dewey and Appleby 1983)。同樣地，amitrole 和 meteic hydrazide 不論是在韌皮部或木質部都能快速地移動(Crafts 1959, 1967)。Picloram 及 dicamba 主要在韌皮部中轉運，而在韌皮部與木質部之間的轉移，主要根據除草劑的理化性質(Chang and Vanden Born 1971, Gaudiel and Vanden Born 1979)。在典型的供源積儲分配的結果，除草劑是由處理的葉部轉運到幼小的葉部及分蘗，以及發育中的根、幼芽及根部和地下莖之頂端。

除草劑對於供源、積儲或韌皮部轉運途徑的生理影響，可能減少除草劑吸收轉運至韌皮部，也會影響除草劑在韌皮部的轉運。許多除草劑會影響原生質膜或次生細胞膜的結構和功能，這將直接影響脂質的代謝或與膜關係密切的代謝過程，或者是間接影響脂質過氧化作用，例如：巴拉刈除草劑會破壞所有的細胞膜，結果在轉運系統被中斷之前僅有非常少量的轉運。然而，當巴拉刈在黑暗的情況下施用時，還有一些韌皮部的轉運會發生。

2.木質部之轉運

木質部是高等植物中主要的水分傳導組織，通常與維管束中的韌皮部有密切的關係。木質部的作用為將水分、無機離子、胺基酸及其他來自高水分潛勢的組織溶質，藉由導管轉移，此轉移方式與韌皮部不同，植物中水分吸收是隨著木質部內之水分潛勢梯度移動。一般而言，土壤溶液中的水分潛勢最高，由土壤往根部及葉部一直遞減，而大氣中的水分潛勢是最低的。因此，土壤和大

氣之間水分潛勢差為推動水分移動的力量。土壤水分和相對溼度等是影響水分在木質部轉運及速率的環境因子，同樣地也會影響溶質的轉移包括除草劑在內。然而，植物並非完全處於開放系統下，水分主要是藉由蒸散作用從葉部氣孔流失，在缺水的情形下，蒸散作用會停止，保持植物中的水分以及避免組織脫水。因此，當土壤和空氣水分潛勢升高時，不一定會提高木質部中的轉移速率，或是使除草劑從根部轉運到莖部。

除草劑由根部表面進入後，可經由皮層及內皮層擴散進入中柱，其間會經過卡氏帶。此時，除草劑必須先經過內皮層細胞之細胞質，以進入維管組織。除草劑會累積在代謝活性較大的葉片中，而在同一葉片中，除草劑會傾向累積於水流終點站的葉片尖端及葉片邊緣。

(三)除草劑之代謝

植物對除草劑的代謝(metabolism)能力是造成雜草和作物間敏感性差異的最重要機制。一般而言，作物或耐性雜草可以快速地將除草劑解毒，以防止組織中累積過多的毒性物質。在研究植物體中除草劑的代謝時，其中有兩個主要的動機：包括(1)探討雜草與作物之間，或是作物栽培品種之間敏感差異的機制，(2)滿足除草劑登記的必要條件。耐感性差異主要是在於植物物種間或是栽培品種生物型間，生理上或是生化上的解毒反應。除草劑的耐性(tolerance)程度不大一定，主要是根據代謝解毒酵素的活性而定，而抗性(resistance)則較明顯是因為除草劑結合蛋白及目標位置對藥劑不敏感所造成。

除草劑在植物組織中的解毒作用可粗略地分為轉變(conversion)、共軛結合(conjugation)和沉積(deposition)三種，植體中除草劑的代謝行為並不需完全具備這三種方式，並且有些除草劑是屬於非活性的前除草劑(pre-herbicide)，須經過轉換之後才具除草劑的效果，另外有些除草劑具可逆性的結合作用，可鍵結或配置進入脂肪體，這些前除草劑的生物活化作用(bioactivation)包含了許多轉變的形式，例如氧化作用、還原作用、水解作用，以及可逆性的結合作用。前除草劑可快速地進入植物體中，甚至比具活性形式的除草劑更具移動性。

1.除草劑分子之轉變

有些除草劑可直接與結合物結合，例如鹵素的親核取代(nucleophilic displacement)，或是醯氨類(amide)與羧基(carboxyl group)鍵結。然而，大多數的原除草劑在其原來的分子中並無可資利用之取代基可與細胞組成成分反應形成共軛物(conjugate)，這些除草劑需在植體中先轉變成代謝物才能再經由結合酵素作用形成共軛物，而這些轉變包含了水解、氧化和還原作用。

(1)水解(hydrolysis)

若除草劑屬於羧酸酯(carboxylic acid ester)、磷酸鹽酯(phosphate ester)或醯氨類，則除草劑就有可能會經由酯酶(esterase)、磷酸(phosphatase) 或醯氨分解酶(amidase)等水解酵素而水解。例如酯酶可裂解和活化 ACCase 抑制劑的芳香基丙酸酯(aryl-propanoic acid ester)，其中在 chlorfenpropmethyl 和 benzoylprop-ethyl 二個除草劑中有兩種

酯酶已被研究，這些酯酶能夠產生具除草劑活性的分子，並且控制某些植物的耐性表現。但是亦發現，chlorfenpropmethyl 酯酶不管是在耐性或是感性植株上皆具高度的活性，而 benzoylprop-ethyl 酯酶則是在野燕麥(感性)中的活性大於大麥(耐性)(Hill *et al.* 1978)。

水解反應也可能經由非酵素性水解方式進行，例如 benzoxazinone (2,4-dihydroxy-3-keto-7-methoxy-1,4-benzoxazine)除草劑在玉米根部，經由非酵素性的水解作用催化成後，使 atrazine 轉變成不具除草劑活性之 2-hydroxy-atrazine，此反應係經由鹵素親核性的取代產生，類似於 glutathione 的共軛結合作用。除草寧(propanil)經由醯氨分解酶水解後產生丙酸(propionic acid)和 3,4-dichloro-aniline，此水解酵素在許多植物物種中和土壤細菌中到處可見。在水稻中，醯氨分解酶的活性特別高，在稗草中則較低，此與水稻耐除草寧除草劑有關(黃及王 1999, Hoagland 1978)。

(2) 氧化(oxidation)、加氧(oxygenation)和羥基化(hydroxylation)作用

羥基化作用是除草劑在植體中最常見的代謝轉變，藉由羥基化作用及其後形成糖苷可使小麥及其他禾穀類作物達到解毒效果。最初的羥基化作用或氧化性去甲基作用，並不一定能將除草劑轉換成不具活性的結構，此需藉由後續的加氧作用和共軛結合作用以完全解毒，例如單加氧酶(monooxygenase)。EPTC (*S*-ethyl dipropyl carbamothioate)在植體中的代謝是藉由硫氧化作用(一種加氧作用)的結果，使 EPTC-sulfoxide 與 glutathione 結合，或更進一步氧化成 EPTC-sulfone。

(3)還原作用(reduction)

除草劑的還原代謝在植體中很少發生，例如在耐性作物和一些雜草中對 triazine 類除草劑 metribuzin 及 metamiron 的還原性脫氨基作用(Schmidt and Fedtke 1977)。研究者在分離出的過氧化體(peroxisomes)中進行活體外分析，可測出脫氨作用，以致生成脫氨基之除草劑。除草劑及其脫氨基後之代謝物是否與糖類或穀胱苷肽形成共軛結合物，乃依植物物種而異。

2.共軛作用

除草劑在植體中最終的代謝物通常為共軛(conjugation)結合物，其結合物有許多不同的形式，主要有糖類、胺基酸、胜肽和木質素結合，這些化學鍵結的形式可能為酯(ester)、乙醚(ether)、硫醚(thio ether)、糖苷(glycoside)或醯氨類。其中只有部分共軛物具可溶性，可以水或其他溶劑從組織中萃取出來，大多數的除草劑可能形成不可溶的部分而與不可溶的基質分子如木質素、半纖維素(hemicellulose)或蛋白質形成化學鍵結。

(1)與穀胱苷肽結合

在植物體中 glutathione 共軛結合反應是很重要的代謝解毒機制，尤其是玉米。其化學機制是除草劑分子發生親核性取代，之後再與葡萄糖結合。在葡萄糖結合反應上有一重要酵素-穀胱苷肽轉移酶 (glutathione-S-transferases; GSTs)，GST 同功異構酶(isoenzyme)的種類很多，有些屬於細胞質內結構性的 GST，有些則游離在細胞質間。而 GST 與單加氧酶兩大類，在除草劑的解毒上

扮演相當重要的角色，在玉米中已發現第三類型的 GST 同功異構酶，能夠將活體外代謝 alachlor。

(2)與醣類結合

植物體中最常形成之葡萄糖苷(glycoside)共軛結合物之一是 β-D-glucopyranoside，另外亦有 *N*-glycoside、*O*-glycoside 和葡萄糖酯的形式。除了葡萄糖之外，其他糖類也有可能結合，形成較長鏈的糖類鍵結。在蕃茄植株中已部份純化出鍵結葡萄糖的相關酵素，可利用 UDP-glucose 當作是葡萄糖的供應者。

(3)與胺基酸結合

天然生長素(auxin) IAA (indole acetic acid)及生長素型除草劑若與胺基酸 asparagine 及 glutamine 形成共軛結合物，其可緩慢釋出主要成分。亦即，以酯鍵方式結合時具可逆性。此外，除草劑與 glutathione 結合，亦可視為胺基酸之共軛結合物，但其鍵結形式及酵素合

3.沉積

代謝解毒及共軛結合的過程並非皆為不可逆的反應，基本上，在形成配糖體之後的除草劑，或是除草劑在轉變之後的產物，仍可重新進入細胞內積儲(sink)形成具有活性形式，但是非常緩慢且少量。最後，除草劑或是外來的物質可藉由轉變、結合和沉積的過程自細胞內活性積儲中移走。

三、除草劑之作用機制

(一)抑制光合作用

光合作用抑制型之除草劑，依其作用方式亦可再細分為(1)抑制光反應系統 I(photosystem I)型，如巴拉刈(paraquat)等。(2)抑制光反應系統 II (photosystem II)型，如尿素類(ureas) (例：diuron、isoproturon、chlorotoluron、linuron 等); Triazine 類(如：atrazine、simazine、prometryn、terbutryn 等); Triazinone 類(如 metribuzin、metamitron); Uracil 類(lenacil、terbacil 等); Anilide 類(propanil、pentanochlor); Phenylcarbamate 類 (phenmedipham) 及其他類(如 bentazone)等。(3)抑制葉綠素及類胡蘿蔔素之色素合成型。

1.電子傳遞鏈

(1)抑制光系統 I

巴拉刈及大刈均為聯吡啶類除草劑。本類型藥劑極易溶於水，在水溶液中解離成離子狀態，毒性來自於其陽離子部份。聯吡啶類除草劑的毒性與其化學結構及氧化還原值有關。在化學結構上，須由兩個吡啶環形成一偶合形態的結構。當植物進行光合作用時，光系統 I 自 plastocyanin 接受電子後，再依序傳給鐵氧化還原蛋白(ferredoxin Fd; E_0=-0.43)及黃素蛋白(flavoprotein)(E_0=-0.32v)。其中，鐵氧化還原蛋白及黃素蛋白(flavoprotein)分別為電子接受者(accepter)。然而由於大刈及巴拉刈之 E_0 值分別為-0.45v 及-0.35v，與上述兩蛋白極為接近，因此會掠奪鐵氧化還原蛋白及黃素蛋白欲接收之電子，使 NADP 還原為 NADPH 之作用受阻。這些除草劑由於一再的經由自動氧化還原過程，將其得到之電子轉移到氧分子上，形成如 H_2O_2，O_2^-，OH 及 $1O_2$ 等過氧化物，皆具有強氧化力。這些過氧化物會造成膜

系構造中脂質結構之脂肪酸氧化，因而破壞膜系結構，使細胞內容物流出，造成植物萎凋致死。

通常植物葉片在噴施巴拉刈之後，於全日照下數小時即會脫水乾燥，其過程包括：1.光合器官吸收光能，2.光系統I 還原巴拉刈，形成巴拉刈基(paraquat radical)，3.巴拉刈基(原子團)還原分子態氧，形成超氧基(superoxide radical)，4.經一連串複雜反應形成氧的其他有毒形式，如氫氧基、過氧化氫、及單價氧等，5.有毒形式的氧引起廣泛的脂肪過氧化作用，6.細胞膜喪失完整性造成水分喪失及快速脫水。

由於巴拉刈除草作用極為迅速，如果只是 NADPH 的合成受抑制造成光合作用二氧化碳固定減少而達到除草效果，似乎不足以解釋其快速毒性，比較合理的解釋應是帶正二價的巴拉刈分子利用截取自光反應的電子，還原為還原型巴拉刈，其能將氧分子還原為離子化型態分子，形成具植物毒性的過氧陰離子(O_2^-)及過氧化氫(H_2O_2)。雖然葉綠體內有過氧化氫酵素作解毒反應，但因葉綠體內過氧化氫形成極為迅速，致使解毒酵素反應不及。由過氧化氫所產生的過氧化物會造成細胞膜上的脂質結構之脂肪酸氧化，因而使膜受到傷害細胞內容物流出，植物萎凋致死(Powles and Cornic 1987)。

(2)抑制光系統 II

光合作用抑制型之除草劑中以抑制 PS II 型之研究報告最為詳盡，triazine 系列除草劑的作用機轉即屬此類。在 triazines 中使用最普遍者，即是 atrazine(俗稱草脫淨)。此除草劑最早發現於 1950 年代，其後便成為甘蔗、玉米及高粱等旱田防治雜草之重要除草劑。施以 atrazine 後，會阻礙其光合作用光反應系統 (PS)中，電子傳遞鏈的正常進行，最後導致光能無法順利轉換成足夠的能量以供植物體使用，造成植物死亡。研究者發現位於 PS 系統中心部位的 D_1 膜蛋白(32KD)，可利用共價鍵與 plastoquinone 結合進行光磷酸化循環，而承續電子傳遞的工作。但若在 atrazine 存在的情況下，D_1 膜蛋白則會與親和性較強的 atrazine 結合，使得 plastoquinone 無法與 D_1 膜蛋白結合，進而阻斷 PS 系統的電子傳遞，造成植物死亡(王 1997c, 1998, 韓及王 1998a, 吳及王 2002)。

D_1 蛋白係由葉綠體基因 *psb A* 編碼。在 1986 年很意外的發現 D_1 蛋白序列與紫色細菌 purple bacteria 中二個蛋白序列相同，其後亦證實 D_1 蛋白質上具有 Q_B 結合位置，D_1/D_2 蛋白複合體亦結合在反應中心葉綠素 P680 pheophytion 及 quinones 上，光系統 II 型除草劑則與反應中心之 quinone 結合位置作用。D_1 蛋白之胺基酸序列摺疊部位有除草劑結合區域，此區域包埋在忌水性凹處。

2.胡蘿蔔素合成

(1)抑制去飽和酶反應

類胡蘿蔔素(carotenoid)係由 5 個碳的結構 isopentenyl pyrophosphate (IPP) 合成，而 IPP 是由 mevalonic acid (MVA) 依序合成的。類胡蘿蔔素合成相關酵素包括聚合酶 (condensing synthases)、去飽和酶 (desaturases)與環酶 (cyclases)。這些酵素皆存在葉綠體封套，卻不存在於類囊體膜。去飽和作用需要分子氧的存在，因為此反應是藉由氫氧化作用啟動

的，但是還未證實有單加氧酶型式的酵素反應。

類胡蘿蔔素的生合成作用中最重要的除草劑目標酵素是去飽和酶。一些抑制 phytoene 或 ζ-胡蘿蔔素去飽和酶，或是抑制此兩種去飽和酶的除草劑，其構造分成兩大群：第一群除草劑，使活體內發生累積 phytoene，意即抑制 phytoene 去飽和酶之活性；第二群除草劑，專一性小，使 phytoene、phytofluene 與 ζ-胡蘿蔔素產生不同程度與比例之累積變化，意即先抑制 ζ-胡蘿蔔去飽和酶或兩種去飽和酶之活性。其它引起 phytoene 累積的化合物似乎也是去飽和酶的抑制劑。

研究顯示 difunon 優先抑制 phytoene 去飽和酶，J-852 抑制 ζ-胡蘿蔔素去飽和酶，而 CPTA (2-(4-chlorophenylthio)-triethylamine) 則抑制環酶。然而，在 *In vivo* 與 *in vitro* 系統下可能產生不同的結果。例如，WL-110547 在 in vivo 下造成 ζ-胡蘿蔔素累積，但在 *in vitro* 下造成 phytoene 累積。Phytoene 去飽和酶似乎在 *in vitro* 情況下較敏感，然而 ζ-胡蘿蔔素去飽和酶在 *in vivo* 下較敏感。

(2)抑制類胡蘿蔔素合成之其他反應

MPTA 與構造類似的 CPTA (2-(4-chlorophenylthio)-triethyl-amine) 雖然均有除草劑的特性，但並非商業化的除草劑，實際上是作為生長調節劑使用。這些成分會抑制類胡蘿蔔素環酶的反應，導致 lycopene 累積。在這些藥劑處理下棉樹幼苗有 phytoene、phytofluene、ζ-胡蘿蔔素與 lycopene 累積，基本上 lycopene 是主要的累積物。環酶主要的抑制作用是引起類胡蘿蔔素的生合成增加，此結果是大量的非環式類胡蘿蔔素與其前趨物累積。

Amitrole (aminotriazole)已發展 30 年，然而，除了只知其抑制類胡蘿蔔素合成引起黃化外，真正作用位置並不清楚。類胡蘿蔔素生成並未受到強烈抑制，但 phytoene，phytofluene，ζ-胡蘿蔔素，與 lycopene 皆會在 *in vivo* 累積。在一研究中發現，雖然胡蘿蔔素生合成受到強烈抑制，但在 *Phycomyces blakesleeanus* 中發現 *in vitro* 系統累胡蘿蔔素的前趨物沒有累積。在此系統中，fluridone 與 difunon 使 phytoene 累積。另一方面，amitrole 刺激 sequalene 累積。總而言之，在 carotenoid / terpenoid 生合成中 amitrole 是早期未知酵素步驟的抑制劑。

Amitrole 另外有 2 個不同的抑制位置。提高濃度(＞0.1 mM)可以抑制過氧化氫酶活性，但細胞內 H_2O_2 未有明顯增加，可能是因為 H_2O_2 被其他酵素破壞。然而，施用 amitrole 後大量累積氧化的 glutathione (GSSG)。GSSG 的合成大量增加，而且還原態/氧化態比(GSH / GSSG)減少，此表示施用 amitrole 後過氧化氫酶受抑制，使調節反應與氧化還原電位發生改變。

3.脫色素

Pyrazolate 是一種較新的除草劑，其作用似 benzophenap、pyrazoxyfen 與 NC-310。其共有的特色為具有 DTP (1,3-dimethyl-4-(2,4-dichlorobenzoyl)-5-hydroxypyrazole)部分構造或極類似的構造。DTP 在黑暗下不會抑制類胡蘿蔔素生合成，且對於葉綠素之生合成僅有些

微的影響。光照下發生光漂白(bleaching)，但不產生 malondialdehyde (不飽和脂質過氧化作用的指示劑)。

在光照下 bromoxysone、ioxysone、haloxydine 與 pyriclor 等除草劑會引起綠色組織強烈白化。其微細構造與生化反應與 amitrole 作用下之變化非常相似，但除草劑干擾的主要機制仍然未知。某些白化除草劑可能不只有一個誘導白化的干擾機制。去飽和酶的抑制劑說明了多功能相互作用的可能性，一些具有相似或密切關聯的機制及反應基質之去飽和酶受到不同程度的抑制、造成除草劑不同且複雜之作用模式。Amitrole 也具有幾種不同的作用模式，但其對於除草劑活性之貢獻僅在抑制類胡蘿蔔素合成。

4.光氧化

與 PS I 發生氧化還原相互作用的除草劑其作用快速，甚至比 NDPEs (nitro-diphenylether herbicides) 的作用速度快。在強烈的光照下，葉片在 20-30 min 後即呈枯萎徵狀。在葉面噴施除草劑後，光依存的除草劑作用很快，因為其迅速乾燥所以除草劑很少由處理過的組織輸出。在黑暗下處理後，除草劑較具流動性，之後如果植物暴露在光照下，則使植物體內之組織更受傷害。此類型除草劑最常使用的 bipyridylium 除草劑有 2 種化合物 diquat 與 paraquat。它們會在 PS I 單一電子傳遞反應中還原，導致陰離子(radical anion)與氧分子自然反應產生超氧陰離子 O_2^-。超氧陰離子經連續的反應，發揮除草劑作用，藉著一系列的相互作用，產生 H_2O_2 與高度活性之氫氧基(hydroxyl radical)。這些有毒的活化氧族強烈影響細胞膜之不飽和脂質，導致脂肪酸過氧化作用，喪失膜的半透性，最後引起凋萎及脫水(游及王 1996, 林及王 1998, 王及黃 1999)。

在高光照下，電子由 PS I 傳遞至 bipyridylium 除草劑的速率提高，使脂質快速地過氧化。此類藥劑引起之傷害類型及徵兆與 PS II 抑制劑或 NDPEs 並無很大的不同，但時間長短可能會有差異。照光程度與組織年齡對除草劑作用的速度有極大的影響，組織愈年輕，照光度愈高，作用速度愈快。

5.氧毒害

光照下，光合作用色素葉綠素 a (P680)和葉綠素 b (P700)，由於吸收光子而形成高能量的中間產物(Chl*, P680*, P700*)。在正常的光合作用電子傳遞進行的系統中，單價葉綠素分子轉運一個電子至粒腺醌 (plastoquinone)而逐步產生 semiquinone 及 plastohydroquinone，當粒腺醌還原作用受到除草劑抑制時，此激發的能量並不能經由一般的途徑處理。此時高溫及螢光放射上升到最大。而輔助色素 β-胡蘿蔔素(Car)能夠萃熄一些激發狀態三價的葉綠素，且以非輻射的方式再次散發已吸收的能量。然而在照光下，除草劑處理的葉片需要 β-胡蘿蔔素萃熄的能量則超過負載，且過量的三價葉綠素會與三價氧反應，形成高活性的單價氧，具有活性的單價氧能夠誘導色素白化，並引起脂質過氧化。當除草劑抑制光合作用電子傳遞鏈時，所產生的單價氧並不能充分有效地移走，故引發除草劑傷害。

除草劑可能也會透過其他方式，例如抑制植物體內化學物質合成類胡蘿蔔

素以妨礙正常光合作用，而不是透過光合作用電子傳遞的抑制。因為光合作用之色素系統若缺乏類胡蘿蔔素，在照光下很不穩定。

除草劑引起的氧氣毒害第三個機制是由於在 bipyridylium 作用下電子流出，抑制光合作用。具氧化還原能力的除草劑與分子氧反應產生超氧陰離子(O_2^-)，此種反應型式稱為 Mehler 反應。因為超氧陰離子經過一連串的反應會轉換成氧(O_2)，所以 Mehler 反應會形成”偽循環性電子傳遞鏈”。在活體內假性電子傳遞，會被鐵氧化還原蛋白催化，可能扮演一個消散能量的角色。超氧陰離子也能夠起始一連串的氧化作用及過氧化作用，導致除草劑作用之傷害。第四個除草劑機制包括，當 nitrophenylether 除草劑存在時，過量的四吡咯化合物會產生活化氧。在誘導光氧化作用之組織傷害時，四吡咯化合物如同對光能的感應器。

(二)干擾微管

植物細胞骨架係由兩個主要部份構成，一個是微管(microtubules)，另外一個是纖維細絲(microfilaments)，這些含蛋白質的構造成分形成了動態的三度空間網路以提供細胞外型，以及細胞分裂、生長與型態發生上的功能。很明顯地，任何在植物細胞內會干擾這些構造功能的化合物均具有除草劑的活性。許多除草劑及植物毒素會干擾細胞分裂、生長、及形態發生。然而在大部分案例中，其影響方式均屬間接式。通常，當一化合物未直接影響微管時，其會在中期(interphase)停止細胞分裂、並阻止進入有絲分裂，而直接影響微管的化合物，通常會引起生長異常及有絲分裂停頓。

有許多除草劑其主要作用是引起植物微管功能異常，很明顯地 dinitroanilines 及 phosphoric amides 乃是藉由結合至微管蛋白(tublin)及阻止微管蛋白聚合化 (polymerizetion) 發揮其效應。N-phenyl carbamates 則有不同的作用機制，可能是與微管組合中心(microtubule-organizing centers；MTOC)相互作用。至於有絲分裂中心中斷劑，如 chlorthal-dimethyl (DCPA)，terbutol 及 pronamide 之作用機制則不清楚。

植物的細胞骨架尚包括微管以外的成分，例如 MTOCs，微纖維(microfibrils)及微管組合蛋白(microtubule-associated proteins；MAPs)，一旦干擾細胞骨架任何成分，將導致生長停止及其他植物毒害癥狀。目前尚無明確證據說明已知的除草劑直接作用在這些成分上。推測其原因可能對於微管以外的這些成分研究不多，尤其是植物，這些組成分可能成為日後除草劑作用位置。

由於細胞分裂及微管功能乃是所有真核生物必然的生命過程，因此，若就毒理學上考量，此種過程似乎不宜作為除草劑的作用目標。然而，參與這些過程的蛋白，在真菌、哺乳動物與綠色植物，彼此間在影響微管功能方面有很大的不同。若能加強了解參與高等植物微管功能之蛋白，或許這些蛋白可作為除草劑作用之特定目標。

(三)抑制脂質合成

高等植物脂肪酸合成主要是在綠色

組織或葉綠體內合成，植物組織內脂肪酸合成最重要的位置是具活性或發育中的葉綠體。葉綠體與細胞質膜內，脂質與脂肪酸的比例不同：在葉綠體脂質 MGDG (monogalactosyldiacylglyceride) 佔有大部分(26-46%)，而在細胞質膜的膜脂質 PC (phosphatidylcholine)則佔大部分(7-24%)。脂質合成抑制型除草劑中，第一大類包括“Aryl-propanoic acids”與其酯類的構造群，命名為 phenoxy -propionic acids，phenoxy-phenoxy propionic acid，polycyclic alkanoic acids 與 aryloxy- phenoxy- propionic acid，或其他相關酯類等等。這些除草劑的字尾為“fops”，此外，字尾通常是“dims”的除草劑 cyclohexanediones，雖然構造不同，但均具有相同的目標酵素 ACCase。這些酸以不同的酯類販售(例如 methyl-, ethyl-, isopropyl-, ethoxyethyl-esters)，可使植物組織便於吸收。第二大類作用於脂肪酸合成酶複合體的非除草劑型抑制劑乃是微生物代謝物 cerulenin [(2S),(3R)-2,3-epoxy-4-oxo-7,10,dodeca -dienoyl-amide]。此成分會使完整的植物與藻類在較高的劑量下造成黃化，並抑制生長。

乙醯輔酶 A 羧化酶(acetyl-CoA carboxylase；ACCase)是 aryl-propanoic acids 與 cyclohexanedione 類除草劑的抑制位置。ACCase 是複合酵素，其含有 3 個具有功能的位置：包括生物素羧基攜帶者(biotin carboxyl carrier)位置，依存 ATP 之生物素羧化酶，與羧基轉移酶(acetyl-CoA transcarboxylase)。植物中 ACCase 是由一多功能的多胜肽鏈構成。酵素作用位置主要在葉綠體，而且在光照下能增進其活性。除了 aryl-propanoic acid 與其酯類的除草劑之外，cyclohexanediones 也是有效的 ACCase 抑制劑，二者均為選擇性的禾草類除草劑(graminicides)。然而，雖然雙子葉植物內的 ACCase 對除草劑不敏感，禾草類的 ACCase 則對除草劑敏感，但是不同禾草類的 ACCase 其敏感度卻不盡相同。玉米的 ACCase 比小麥或大麥的 ACCase 敏感(王 1997a, 韓及王 1998b, 羅及王 1999a)。

另外，單一植物物種並非其所有的組織對 cyclohexanediones 均有相同的敏感度。Sethoxydim 迅速抑制玉米根尖(0-2 mm)細胞將 ^{14}C-acetate 併入脂質，然而，在根部增殖區(10-15 mm)則沒有抑制作用。因此，可以推定目標酵素 ACCase 存在於快速分裂的細胞。在生化層次上，除草劑作用的二次效應包括黃化(抑制葉綠素與類胡蘿蔔素生合成)、改變葉綠體內脂肪酸鏈長度分布(C-18 的酸減少與≦C-16 的酸增加)，以及抑制 DNA 合成與有絲分裂。ACCase 受到抑制後 acetyl-CoA 與 malonyl-CoA 之比值改變，也造成 C-16：C-18 的脂肪酸比例改變。葉綠體之超微細構造迅速受破壞，必要的結構元素流失後，伴隨著擾亂膜的結構。膜的功能喪失，特別是膜的半通透性喪失，使原本在不同的細胞間隔內之分解酵素與受質，會互相接觸。

1.抑制特長鏈脂肪酸延長

Thiocarbamates、鹵化酸類(dalapon 與 TCA)以及 ethofumesate 除草劑均能抑制特長鏈脂肪酸(VLCFAs)的合成。在田間施用低濃度(μM)下，這些除草劑的主要影響是減少上表皮蠟質的長鏈。EPTC

與 ethofumesate 均引起 *Brassica oleracea* 整個葉片蠟質的沉積減少。葉表面在掃描式電子顯微鏡下，可觀察到上表面蠟質減少(或完全沒有上表皮蠟質)。在其他的案例中，葉表面蠟質沉積的總量雖然不變，但是蠟質的構造則大大地改變。Thiocarbamates 除草劑存在時，脂肪酸鏈的延長作用會受抑制。不同葉表面脂質片段中，VLCFAs (C-26 至 C-31)減少，然而 C-22 鏈長的脂肪酸卻增加。

2.抑制脂質合成之其他機制

在某些研究中顯示 α-chloroacetamides 與 α-chloroacetanilides 構成了影響脂質合成之另一群除草劑。chloroacetamides 不像 thiocarbamate 一樣熟知其是否抑制 VLCFA 之合成。然而，有些報告表示 chloroacetamides 會抑制脂質合成。由於此抑制作用發生在 10-100 μM 範圍內，因此對於除草劑作用機制之考量，其重要性受到質疑。除了這些對脂質合成的效果受質疑外，chloroacetamides 已被確定為細胞分裂與細胞生長的抑制劑，其作用的生理機制明確地不同於 thiocarbamates。chloroacetamides 除草劑的作用模式似乎位於針對植物細胞生長與分裂重要的酵素反應。相對地，負責 thiocarbamates 除草劑作用的酵素位置似乎特定於高等植物內，特別是單子葉植物。

(四)抑制核酸與蛋白質合成

目前尚未發現商品化除草劑對於蛋白質及核酸合成有直接影響，可能此合成過程均非商品化除草劑的主要作用位置。由細胞核主導的蛋白質及核酸合成過程乃普遍存在於真核生物，且在演化過程中也充分地保留此特性，因此其可能對於許多生物均有毒理學上的考量而不可能成為令人滿意的除草劑。然而也有研究者提出，對於質體內的反應，可能另當別論。事實上，已知有微生物之毒素對於質體內之核酸合成略具特定性，可能具有開發成為除草劑之潛力。

(五)抑制胺基酸合成

1.芳香族胺基酸

三個必要的芳香族胺基酸，phenylalanine, tyrosine 及 tryptophan，乃是 shikimate 代謝路徑之產物。許多芳香族胺基酸的二次代謝物，如 lignins, alkaloids, flavonoids, benzoic acids 等，對植物生長與發育的影響很重要。有關 shikimate pathway 在動物界並未發現，但在植物、真菌及細菌中的代謝卻是重要的(王及王 2003)。光合作用植物所固定的碳素約有 20%流經此一高度調節的路徑。

嘉磷塞是唯一發展作為抑制芳香族胺基酸合成之除草劑，其作用是中斷 shikmate pathway 中酵素步驟。此藥劑對於哺乳類動物毒性低。在生理 pH 值、此藥劑為兩性離子(zwitterion)、優先以二價陰離子形式存在、可與某些二價金屬陽離子形成強烈結合的複合物，通常以異丙胺鹽(isopropylamine salt)形式販售。嘉磷塞陰離子形式乃是具活性之分子，其在韌皮部具高度移動姓，易隨著光合產物從施用的葉部轉移至遠處的代謝積儲(sink)。此藥劑配合其緩效性、有利於防除具有地下部再生器官之多年生雜草。

嘉磷塞此種非選擇性除草劑可抑制

5-enolpyruvyl-shikimate-3-phosphate synthase (EPSPS)活性。此酵素之作用乃是聚合 shikimate-3-phosphate (S3P)及 phosphoenol-pyruvate (PEP)以產生 EPSP 及無機磷酸鹽。在酵素催化反應過程中、EPSPS 先與 S3P 形成 EPSPS-S3P 複合物，之後再與 PEP 結合。當嘉磷塞抑制 EPSPS 活性時，藥劑會結合至 EPSPS 上原本與 PEP 分子中磷酸鹽部分結合的區域。嘉磷塞與 PEP 比較下，其與 EPSPS-S3P 複合體結合的能力較 PEP 緊密 115 倍，速度慢 20 倍，但解離速度也慢 2300 倍。

在綠色植物中，EPSPS 乃是由細胞核編碼的蛋白質，其具有轉移胜肽，以便進入質體內。例如牽牛花(*Petunia hybrida*)合成 EPSPS 時，有 72 個胺基酸構成之轉移胜肽，連接在 444 個胺基酸構成之成熟酵素上。不同物種之 EPSPS 之胺基酸序列彼此間具高度保留性，但轉移胜肽則較多樣化。EPSPS 乃是唯一由核內基因編碼的質體內酵素，在其進入質體作用前即能對存在細胞質中的前驅物 pEPSPS 進行反應。因此除草劑的結合與抑制作用可在細胞質中進行。嘉磷塞結合至 pEPSPS 可抑制質體的吸收及 pEPSPS 之修飾改變。當嘉磷塞濃度在 10 μM 時，會完全抑制 pEPSPS 進入質體。

對於發展除草劑抗性而言，嘉磷塞是理想的除草劑，乃因在此種作物中不易快速地產生抗性雜草。而且，此藥劑在毒性及環境考量上較為安全。在發展嘉磷塞抗性作物上可能有三種策略，包括(a)過度生產 EPSPS 以便稀釋除草劑分子，(b)在植物中引入或誘導出具嘉磷塞抗性之 EPSPS，或是(c)引入能夠代謝嘉磷塞之酵素。而其中前二項受到較多的重視。

2.支鏈胺基酸

胺基酸中的結氨酸(valine)、亮氨酸(leucine)與異亮氨酸(isoleucine)是支鏈胺基酸途徑的產物。過去十年中，發現兩個商品化的除草劑化學類型[硫醯尿素類(sulfonylureas)與 imidazolinones]是作用在乙醯乳酸合成酶(ALS；亦稱 acetohydroxy acid 合成酶－AHAS)，ALS 是此途徑中第一個酵素。

ALS 聚合兩個丙酮酸鹽(pyruvate)分子，形成 2-acetolactate，此乃亮氨酸與結氨酸以及 CO_2 的前驅物。ALS 也可與丙酮酸鹽、2-ketobutyrate 進行反應，形成 CO_2 與 2-aceto- hydroxybutyrate，此為異亮氨酸的前驅物。ALS 活性需要 FAD, thiaminepyrophosphate (TPP)以及 Mg^{2+} 或 Mn^{2+}，並產生中間前驅物 hydroxyethyl- TPP (HETPP)。FAD 存在的情況下，ALS 以四分子結構形成複合體。此關鍵酵素在支鏈胺基酸合成中受三個胺基酸產物的回饋抑制調節。ALS 以兩種形式存在某些高等植物中，每一種型式對支鏈胺基酸的敏感度與對 ALS 抑制的除草劑敏感度都不一樣。在質體內可發現完整的 shikimate pathway，酵素是由細胞核內編碼且具有轉移胜肽以便移入質體中。編碼 ALS 的基因已由菸草與阿拉伯芥中分離出，其分別在 667 與 670 個胺基酸蛋白質產物之間發現有 85% 的相似性。

ALS 的抑制劑有三種類型，其結構各異，每一類除草劑與酵素有獨特的相互作用。這些化合物皆可當作生長抑制

劑，會使植物在數天至一週以上的期間內死亡。通常這些化合物的效果比嘉磷塞快。硫醯尿素類除草劑係由三個部分組成：包括(a)芳香族羥基(aryl)－通常在苯基(phenyl)上相鄰位置與硫醯尿素連結；(b)雜環部分－是一對稱的嘧啶或triazine；以及(c)硫醯尿素類作為連結的橋，連結另外兩部分。分子中各部分小小的取代差異會使生物活性有很大的轉變，這些化合物容易被根與葉吸收，並在韌皮部與木質部運轉。它們具有高度活性，在田間施用量低至 2 g ha^{-1}。

ALS 通常受 triazolopyrimidines 的抑制比受硫醯尿素類抑制輕微。如同硫醯尿素類，triazolopyrimidines 這類除草劑與 ALS 結合速度慢而緊密。Triazolopyrimidine 當中的 2-NO_2-6-Me-sulfonanilide 能有效地與硫醯尿素類中的 sulfometuron 競爭，顯示其競爭 ALS 分子上相同的結合位置。植體外 imidazolinones 屬較弱的 ALS 抑制劑，其 I_{50} 超過硫醯尿素類 100 倍。高等植物 ALS 的 Ki 值在 1~10 μM；如同硫醯尿素類一樣，imidazolinones 緩慢而緊密的與 ALS 結合。

支鏈胺基酸生合成的第二個酵素，acetolactate reductoisomerase (ALR)，受到試驗用的除草劑 HOE-704 (2-methl-phosphinoyl-2-hydroxyl-acetic acid)及反應的中間物質 N-isopropyl oxalyl-hydroxamate 抑制。HOE-704 會抑制 Lemna 生長，但在培養基中加入結氨酸，亮氨酸與異亮氨酸則可恢復。在處理過的 Lemna 與玉米組織中迅速累積 acetolactate 與其去羧化作用的產物 acetoin。Acetolactate 還原異構酶(reductoisomerase)有兩個反應基質，合成異亮氨酸時需要 2-aceto-2-hydroxy-butyrate (AHB)，而合成結氨酸或亮氨酸時需要 acetolactate (AL)(王 1996a, 1996b, 劉及王 2000a, 2000b, 賴及王 2003)。

3.穀氨醯胺

穀氨醯胺合成酶 (glutamine systhetase；GS)在同化無機氮變成有機氮化物的途徑中是起始酵素。GS 是核內編碼的酵素，在細胞質與質體內有不同的異構物。兩個異構物的比例隨細胞類型與物種改變，但綠色組織中以葉綠體的異構物占優勢或成為唯一的形式。GS 受一些構造相似的化合物抑制，這些化合物乃是穀氨酸(glutamate)取代變化之產物，而且大多是自然發生的胜肽。這些化合物中的三個，methionine sulfoximine (MSO)，phosphinothricin (PPT；除草劑的普通名稱為固殺草 glufosinate)，與 tabtoxinine-β-lactam (taboxin)已被廣泛研究。菠菜葉綠體的 GS 受 MSO 與 glufosinate 抑制，其 Ki 值分別為 100 與 6.1 μM。高粱中細胞質的 GS 對 PPT 的 Ki 值為 8 μM。Bialaphos 是 *Streptomyces hygroscopis* 產生的三胜肽 (phosphinothricyl-L-alanyl-L-alanine)產物，其在植物體內可被代謝產生 glufosinate 及 alanine。因此，bialaphos 的作用機制基本上與 glufosinate 相同。Glufosinate 與 bialaphos 是唯一被商品化的 GS 抑制劑。

當 GS 的活性受到 glufosinate 抑制時，使得 NO_2^-在光合作用下被還原或提供光呼吸的條件下，導致氨快速累積。在沒有光呼吸的條件下(高 CO_2 與低 O_2)，glufosinate 對光合作用沒有影響。

Turner *et al.* 也表示在高 CO_2 下，tabtoxin 不會造成氨累積與植物毒素影響植物生長。

Glufosinate 造成氨累積伴隨著發生光合作用中斷，葉綠體構造斷裂與基質液泡化。雖然有研究者認為以 GS 抑制劑處理過的細胞是因為氨累積影響光合作用，尤其是光磷酸化作用而抑制光合作用，但 Sauer *et al.*發現 glufosinate 造成 glutamine 的消耗才是光合作用停止的原因。GS 抑制劑造成光合作用中斷亦被歸因於累積乙醛酸(glyoxylate)(係 RuBP 羧化酶抑制劑)、抑制蛋白質合成與消耗 Calvin 循環中間物。Calvin 循環的中斷造成一些能量朝向分子氧、亞硝酸鹽、硫與磷的還原(王 2000)。

4.組氨酸

抑制組氨酸(histidine)合成之相關研究較少，在 1990 年以後，組氨酸在植物體內的合成，才逐漸有研究報告出現。由於抑制氨基酸合成之除草劑，大致上用量少、毒性低，對植物較具專一性，在要求環保之今日，此類型之除草劑值得加以重視(王 1997b)。

組氨酸是蛋白質合成上所需的一種胺基酸，可作為許多酵素的活化中心，也是作為生理上調節酸鹼環境的重要緩衝物。有關組氨酸在植物體內生合成的情況所知有限，一般假設其合成途徑如同微生物一樣。在微生物中合成組氨酸之全部 10 個酵素作用步驟，包括自 pentoses 轉變成 5'-phosphoribosyl-pyrophosphate 之後，再與一分子 ATP 結合，形成 N'-5'- phosphoribosyl-ATP。之後再經由 N'-5'-phosphoribosyl–AMP →N'-5'-phosphorribosyl-formimino-5-amino-imidazole-4-carboxamideriboncleotide→N'-5-phosphpribulosyl-formimino-5-amino-imidazole-4-carboxamideribonucleotide→imidazole glycerol phosphat (IGP)→ imidazole acetol phosphate→ histidinol phosphate →histidinol →histidine 等步驟合成 histidine (Steward and Bidwell 1983)。有研究者報告指出其中有四個酵素反應存在於高等植物。從大麥、燕麥、及豌豆地上部得到的粗萃取物，可偵測出 ATP phosphorribosyltransferase (EC 2.4.2.17), imidazole- glycerol- phosphate dehydratase (IGP dehydratase; EC 4.2.1.19) 及 histidinol phosphatase 等酵素之活性，此外也從甘藍菜中純化出 histidinol dehydrogenase，並選殖其 cDNA。

由於有關組氨酸在植物體內之代謝研究所知有限，起步較晚，因此相關之除草劑亦不多見。長久以來，常使用除草劑 aminotriazole (3-amino-1,2,4-triazole；又稱為 amitrole)作為非選擇性除草劑，且認為其能抑制組氨酸合成。Amitrole 在分子層次上的作用模式在 1989 年以前尚無令人滿意的說明。一般相信，此化合物乃為一些酵素作用的抑制劑。包括 phytoene desaturase, lycopene cyclase, imidazole-glycerol phosphate dehydratase 及 catalase 等酵素。研究者指出在大腸桿菌、鼠傷寒沙門氏桿菌、酵母菌等材料中，amitrole 可抑制 IGP dehydratase 活性。值得一提的是，amitrole 對這些生物並不會造成致死效果。

在 amitrole 除草劑處理下，使得酵母菌累積 IGP，故認為其目標酵素(target

enzyme)可能是 IGP dehydratase。受到此種除草劑抑制生長的微生物，一旦添加 L-histidine 即可克服抑制現象。然而，有關 amitrole 在植物體內之表現如何？Heim and Larrinua (1989) 曾採用對 1,2,4-triazole-3-alanine (簡稱 triazolalanine) 敏感之阿拉伯芥為材料，此種 triazolealanine 係組氨酸生合成之回饋抑制劑，可抑制 ATP phosphoribosyl transferase 活性，因此一旦加入組氨酸，則可以消除阿拉伯芥對於 triazolealanine 之敏感性。然而同時施用 triazolealanine 及組氨酸卻無法克服施用 amitrole 所引起的除草劑效果。意即，在阿拉伯芥的植物材料中，amitrole 之毒性並不是起因於缺乏組氨酸，因此氏等認為在阿拉伯芥材料中，amitrole 除草劑之作用與組氨酸似無直接關係。

雖然 amitrole 可抑制一些微生物材料之 IGP dehydratase 活性，且加入組氨酸可抵消其抗微生物效果，但其在植物體內之作用顯然並非由於單純抑制 IGP dehydratase 。其它的代謝過程，包括色素合成及可能參與的催化反應，可能均受到影響(Mori *et al.* 1995)。直到 Mori *et al.* (1995)藉由發現 IGP dehydratase 之特殊抑制劑，才建立了一種除草劑作用的新形式。氏等以三種 triazole phosphonates 類化合物 IR1693、1803 及 1856 可以抑制小麥 IGP dehydratase 酵素反應，而且對於培養的羅勒(*Ocymum basilicum*)細胞具有高度毒性。由於試驗中一旦加入組氨酸, 即可克服上述之作用，因此證明在這些高等植物中，triazole 類除草劑之細胞毒性乃係抑制組氨酸生合成的結果。氏等指出此類除草劑在 0.05-2 kg ha^{-1} 的用量範圍內，具有萌後施用而且廣效(wide-spectrum)之除草劑活性。由於此種除草劑不影響其它如色素、脂質、脂肪酸之生合成、光合作用之電子傳遞鏈及細胞壁，因此具有專一性(Mori *et al.* 1995)。其作用方式不同於 amitrole 之多重作用方式。此種 triazole 類除草劑之作用方式具專一性，在應用效果上應較先前之 amitrole 更為有利。

5.其他胺基酸

Benzadox 是一個獲得專利的原除草劑 (proherbicide)，會被植物代謝成 amino-oxyacetic acid，其能夠抑制依存 pyridoxyl phosphate 之酵素，包括許多轉氨酶。但此成分並未如其他除草劑被認為其主要作用位置是在胺基酸合成途徑。然而，許多未開發利用之胺基酸代謝酵素，例如來自於假單胞菌 *Pseudomonas syringae* 此菌之具有植物毒性的三胜肽毒素 phaseolotoxin，其會引起大豆輪狀枯萎病(halo blight)，是一種有效的 ornithine carbamoyltransferase 抑制劑。

(六)生長素型除草劑

生長素型除草劑 (auxin-type herbicides)是最早被研究開發的除草劑，其對某些植物具有選擇性，在農業上用來防治闊葉雜草已經有五十年之久(Engvild 1996)。由於生長素類型除草劑具有低劑量、高度選擇性、生產成本低及對禾本科植物危害低的特性，因此第二次世界大戰期間發展出 2,4-D 等一系列生長素型除草劑，而且也開始進入使用有機除草劑的時代。生長素型除草劑在分類上共分為五群，包括

phenoxyalkanoic acids (如 2,4-D，MCPA (4-chloro-2-methylphenoxy acetic acid), MCPB (4-4-chloro-2-methyl-phenoxy butanoic acid)), benzoic acids (如 dicamba，chloramben)，pyridine 衍生物 (如 picloram，clopyralid，triclopyr), aromatic carboxymethyl 衍生物和 quinoline carboxylic acids。生長素型除草劑具有類似 auxin 的植物生長素作用，一旦進入植物體，會造成植物組織內生長素分佈失去平衡，干擾植物的正常生長、生理作用，或是刺激成熟的植物組織，使某些植物細胞大量地異常分裂增殖，造成植物葉片或植株扭曲、肥大等異常生長的現象。一般而言，在長期大量施用生長素類型除草劑之情況下，植物會產生抗性(羅及王 1999b)。

生長素型除草劑具有生長素特性，但與植物荷爾蒙中的 auxin 不同，例如 IAA 其在植物體內係自行合成的，僅需要少量即可調節植物生理反應；而生長素型除草劑如 2,4-D 屬於外加的生長調節劑，在植物體內較內生 auxin 更具持久性而不易消失，且進入植物體內的量較內生 auxin 高出許多。生長素型除草劑對植物的影響，在植物生長方面包括導致異常生長，促進植物細胞分裂與分化，使植物快速增殖，植物各部位器官扭曲、腫大、畸形，以及減少株高、產量，延遲成熟期，增加種子中蛋白質，減少種子發芽和重量等(Martin *et al.* 1990)。在生化方面，包括影響醣類、胺基酸的儲存、利用及蛋白質酵素的合成等。在毒害作用上包括促使細胞質變大、分裂，植株的壞疽，細胞膜、液胞膜的分離、壞死、乾燥、衰老等現象(Nishitani and Masuda 1981)。一般而言，生長素型除草劑普遍用於農田、森林、水域以及公園綠地之闊葉雜草防除，在施用除草劑後 5~30 小時，就會使雜草發生生理、生化上的改變，因此在很短的時間就可以達到防除雜草的效果(Barnwell and Cobb 1994)。

生長素型除草劑較不會危害禾本科作物，具有高度選擇性，其原因包括有抗性植物能忍受較高劑量的藥劑、除草劑作用的目標位置不同、植物的型態、藥劑對植物的穿透力、吸收、運轉、及代謝等作用能力(c.f. Cobb 1992)。一般而言，植物對生長素型除草劑之選擇性主要決定於除草劑是否到達目標位置、藥劑的數量多寡、及抗性植株中作用點對除草劑的敏感程度。

由於生長素型除草劑具高度選擇性，生產成本低，較不會為害禾本科植物，因此已經普遍用來防治作物田中的闊葉雜草。生長素型除草劑抑制植物生長可能包括在高濃度的生長素型除草劑施用下造成 ABA 的累積，抑制 K^+的輸送及促進乙烯的生成。由於長期大量施用生長素型除草劑會使植物產生抗性，造成作物生產過程中，雜草防除上人力及物力的浪費。因此，了解植物物種間抗性作用及對除草劑選擇性之表現能力，可供利用生長素型除草劑時之參考，並能配合此類除草劑之特性在田間防除雜草上提供較好之管理方法(施及王 2001)。

(七)其他作用機制

自 1970 年初以後，有機合成之除草劑，逐漸受到人們的重視與使用，因此

相關研究快速增加，尤其一些研發與商品化較早的除草劑，相關研究報告大量產生，包括從瞭解除草劑作用機制至研究抗性產生機制。有關除草劑作用之生理機制，除了前述之外，尚有許多其他作用機制的除草劑或發展中的除草劑相關研究尚在進行中(張等 2000)。

1.抑制碳素同化及碳水化合物合成

雖然開發利用最成功的除草劑其光合作用的電子傳遞是主要的作用位置，但碳素固定並非除草劑作用的有效位置。以 ribulose 1,5-bis-phosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco)為例，可能是因為目標位置的分子數量太多，必須足夠的除草劑分子數量才能達到效果。Rubisco 在高等植物的可溶性蛋白質中佔有 20-35%。事實上，在葉綠體中 Rubisco 的催化位置的濃度遠遠超過正常的 CO_2 的濃度。在活體內(*in vivo*) Rubisco 不是一個非常有效率的酵素，因為葉綠體內的 CO_2 濃度低，且氧分子競爭 CO_2 結合的位置。

已知有許多 Rubisco 的抑制物，例如 2- 及 4-carboxylarabinitol-1,5- bis-phosphate 是有效的，幾乎不可逆地抑制 RuBP-carboxylase。尚有其他 C_3 碳素同化酵素的抑制物，但未成為商業上有效的除草劑。例如 iodoacetol-phosphate 在 nM 濃度下即能抑制 glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase 活性，而且在 μM 濃度下可抑制葉綠體中的碳素固定。此外，在 C4 植物中發現的碳素同化酵素之抑制作用，可考慮作為尋找選擇性除草劑的基礎。例如 methyl-2,4-diketo-n-pentanate 可強烈抑制 pyruvyl-phosphate dikinase (PPDK)和 phospho-enol-pyruvate carboxylase (PEP carboxylase)活性，但欲找出針對上述酵素具有毒性的化合物可能較為困難。生長調節劑 glyphosine 是除草劑 glyphosate 的類似物，是一種 PEP carboxylase 的弱抑制劑。雖然 3-mercaptopicolinic acid 能更強烈地抑制 PEP carboxylase 活性，但卻不能有效地打斷 C_4 植物的碳素同化作用。

2.抑制纖維素合成

纖維素的生合成顯示特別受到 dichlobenil 抑制，雖然正確的分子位置有待確認。這種除草劑在活體內只需要 μM 的濃度即能很快地影響纖維素的合成，在其他生理性狀上則影響很小或無影響，包含非纖維素之多糖類合成在內。Dichlobenil 的羥基化反應產物是非常有效的非偶合劑(uncouplers)，然而在低濃度下 dichlobenil 本身對於纖維素合成的影響，比其代謝物對於光合或呼吸作用磷酸化反應之影響大。此外，除草劑 chlorthiamid 經由在土壤內轉換或經由光化學反應，會被轉化成 dichlobenil。因此，它可能與 dichlobenil 有相同的作用機制。

在完整的阿拉伯芥植株中 isoxaben 比 dichlobenil 更強烈地抑制細胞壁成分中『酸不溶』部分(推測係纖維素)的合成約達 40 倍。Isoxaben 對細胞壁生合成的影響比脂質、核酸或蛋白質生合成的影響更強。此外，dichlobenil 和 isoxaben 是六種(其他四種是 amitrole、fluridone、ethalfluralin 和 chlorsulfuron)除草劑中僅有的兩種，會快速影響葡萄糖併入『酸不溶』細胞壁組成分中。研究資料指出 isoxaben 比 dichlobenil 更能

抑制細胞壁生合成。

3.抑制葉酸(folic acid)合成

Sodium sulfanilic acid 和 sulfanilamide 所產生的植物毒性乃因抑制葉酸合成所致，因為 4-aminobenzoate 可克服這些植物毒性。Sulfanilate 和 sulfanilamide 是 7,8-dihydropteroate 合成反應中基質 *p*-aminobenzoate 的類似物。在感性物種中由 sulfanilate 所引起之選擇性及黃化與其影響葉酸含量有關。在蘆筍(不敏感)中，sulfanilate 不會代謝，然而，在花生(敏感)中，此化合物大部分被結合形成另一種化合物，在某些方面表現如同葉酸類似物，因此可能抑制葉酸形成。

除草劑 asulam 很明顯地與 sulfanilate 有相同的作用機制。Asulam 會抑制胡蘿蔔細胞懸浮培養的生長及小麥幼苗根的生長，但添加 *p*-aminobenzoate 或葉酸至培養基中則可克服此種抑制作用。Asulam 抑制亞麻及金魚草根部伸長，只要添加葉酸即有效。小麥、野燕麥、亞麻和 *Stellaria media* L.的葉部施用 asulam 會減少鮮重，若同時噴灑 *p*-aminobenzoate 則會使傷害減少一半以上。Asulam 所處理的植株葉酸含量會減少，但植株噴施 asulam 加 *p*-aminobenzoate 將可減少這種現象。

4.抑制激勃素合成

有數種除草劑顯然對激勃素(GA)合成過程中的酵素有直接影響。然而抑制激勃素合成並未被視為這些化合物的主要作用機制。大部分這些除草劑對脂質合成的影響，被認為是造成植物毒性更重要的原因。研究發現 EPTC 和 metolachlor 阻斷 geranylgeranyl pyrophosphate (GGPP) 轉變為 ent-kaurene，並且 alachlor、mefluidide 和 CDAA 阻斷 ent-kaurene 轉變為 ent-kaurenoic acid。Diallate 則是抑制 GGPP 和 ent-kaurenoic acid 之間數種反應。Clomazone 顯然藉著抑制 GGPP 形成來抑制 GA 合成。施用外加的 GA 不能回復 alachlor、mefluidide 或 CDAA 這些除草劑的影響，但它可以回復一些 clomazone 對生長植株的抑制影響。

許多高效的 GA 抑制劑已經被使用，或被考慮當作植物生長調節劑。然而，這些化合物並未作為除草劑使用。顯然緩慢的效果以及不能殺死植株，使得 GA 合成抑制劑無法作為除草劑。研究者認為抑制 GA 合成的除草劑在幼苗發育時將是最有效的，尤其當植株生長是依賴 GA 調節種子貯存物質移動時。

5.抑制木質化及酚類化合物的合成

植物碳素同化如果經過 shikimate pathway，最後會形成二次酚類化合物(例如：類黃酮、單寧)，尤其是木質素。第一個酵素 phenylalanine ammonia-lyase (PAL)，導引 phenylalanine 和 tyrosine 產生二次化合物。理論上，抑制這個酵素對所有芳香族二次化合物的生產將有明顯的影響。雖然早期尋找此種作用機制的除草劑沒有成功，但已陸續發現 PAL 的數種抑制劑，例如 α-aminooxy-β-phenylpropionic acid 和 R-(1-amino-2-phenylethyl) phosphonic acid，以及 cinnamate-4- hydroxylase 的抑制劑如 1-aminobenzo- trizole。然而，這些化合物並非好的生長抑制劑。一種 triazine 類化合物【4-amino-6- methyl-3-phenyl-

amino-,2,4-triazin-5(4H)-one】則可抑制 coniferyl alcohol 的氧化及過氧化氫產生，這兩種反應是木質化所需要的。最後，雖然這些抑制劑使植物死亡，但這些效果太過緩慢。

6.對氮素利用的影響

目前尚無除草劑是藉著抑制硝酸鹽(nitrate)或亞硝酸鹽(nitrite)還原酶(reductase)來作用的。然而，非選擇性除草劑氯酸鈉(sodium chlorate)可以藉著硝酸鹽還原酶的還原反應被生物性活化(bioactivate)成具有植物毒性的亞氯酸根(chlorite)離子。然而，亞氯酸根離子真正的作用模式仍屬未知。

以硝酸鹽還原酶做為除草劑作用的分子目標可能是不好的選擇，因為缺乏硝酸鹽的植株死亡得很緩慢，而且施用其他氮源肥料，將影響這種除草劑的利用效果。亞硝酸鹽還原酶可能是較好的選擇目標，因為在硝酸鹽還原成亞硝酸鹽的情況下，抑制此酵素會累積具有植物毒性的亞硝酸鹽。一些研究者推測亞硝酸鹽的累積，在光合抑制型除草劑的作用模式中扮演一個主要角色。

7.抑制光合磷酸化作用

除草劑對於光合磷酸化作用的直接影響，可經由不耦合(uncoupling；意即 protonophore)或是經由類囊體之耦合因子複合物(CF_0和 CF_1)的作用。在第一個例子中，產生自水裂解且保存在類囊體膜的質子梯度會經由 protonophore 活動而消散。在第二個例子中 CF_1 的 ATPase 活性通常會被抑制。在葉綠體中誘導這些效應的化合物似乎也會影響粒線體中的類似過程。目前沒有商品化除草劑以直接影響上述這些過程作為其主要機制。然而，有些除草劑種類，如某些 diphenylethers 可經由抑制 CF_1 ATPase 而抑制光合磷酸化作用。有些光合電子傳遞抑制物，在比抑制電子傳遞作用所需濃度高出很多之情況下，也會抑制循環性光合磷酸化作用的耦合。

8.對原生質膜及液胞膜功能的影響

研究發現很多膜系複合物上蛋白質及脂質互相作用，但對控制此作用的機制尚不清楚，未有除草劑顯示其主要作用機制是直接抑制植物原生質膜(plasmalemma)及液胞膜(tonoplast)功能，因為實際上可能在每個細胞中有很多不同的位置受到影響，這也可能相對地造成哺乳動物毒性。所以，以原生質膜及液胞膜作為除草劑的作用目標並不是很好的選擇。許多除草劑，尤其是親脂性的化合物，在極高的濃度下可直接影響原生質膜的功能。

Balke(1985)將直接影響原生質膜的除草劑分類為：(1)通透性改變子(permeability alterers)、(2)轉運抑制子(transport inhibitors)、(3)膜系酵素活性改變子(alterers of membrane enzymatic activities)、(4)影響膜系功能的荷爾蒙及環境調節之相關因子。

有幾種除草劑可快速地使原生質膜兩端之電位差去極化，這種效應可由幾種機制造成。膜系之極性喪失將無法吸收離子，最後導致電解質滲漏。相對地，電解質滲漏也會喪失膜系極性。在 sethoxydim 的例子中，只有在濃度(> 0.2 mM)高於除草劑活性所需之濃度時，此種 acetyl-CoA carboxylase 抑制劑才會使膜系去極性。研究者也發現在活體內

sethoxydim 抑制膜系上鍵結的 H^+-ATPase，但是在活體外的效應並無相關報告。Sethoxydim 對此 ATPase 的效應在 Poa 之 sethoxydim 抗性與感性品種上都表現相同。然而，在同一屬(genus)中較具感性的品種，其膜系鍵結的氧化還原系統受 sethoxydim 抑制程度皆比任一抗性品種嚴重。在感性及抗性品種間，sethoxydim 效應的差別只有在非常高的濃度(0.4 mM)下才能測得，因此在除草劑之作用模式中不可能扮演重要的角色。

9.多元胺(polyamine)合成

多元胺參與動、植物重要的細胞反應過程，包括 DNA 複製及細胞分裂。多元胺之生合成需要 6~7 個酵素參與，目前尚未有除草劑可直接作用於其中任何一個酵素。在這合成途徑上已經知道幾個酵素的抑制劑，不論是 ornithine decarboxylase (ODC) 或是 arginine decarboxylas (ADC)的抑制劑均無法有效地抑制活體內多元胺的合成，顯然其有雙重的合成途徑存在。試驗中甚至同時以 ODC 及 ADC 二酵素之抑制劑處理植物也不會降低其多元胺含量，顯示可能尚有第三個合成途徑。研究發現 5 μM cinmethylin 強烈抑制豌豆根部生長，並微弱地抑制其 putrescine 的累積。然而，外加 putrescine 於 cinmethylin 處理的植物並不會減輕 cinmethylin 的除草效果。在研究 *Phaseolus vulgaris* 中，putrescine 則部份逆轉了 agrinine decarboxylase 抑制劑 canavanine 之抑制生長的效用。因此，前述 cinmethylin 在生長上的抑制效果，可能與 putrescine 合成受到抑制無關。Chlorsulfuron 可抑制根尖進行有絲分裂組織中的 spermidine 累積。Chlorsulfuron 能有效地抑制 spermidine 累積，其效果比 methyl-glyoxal-bis (guanylhydrazone)及 cyclohexylamine 兩種特定的 spermidine 合成抑制劑來得有效。其他的除草劑可能造成植物體中多元胺含量大量的增加，然而，植物對多元胺極低的需求以及多元胺在植物體中有多重的合成途徑，使得除草劑很少選擇或尋找多元胺合成做為其鍵結作用的位置。

10. 對於呼吸作用及碳素分解代謝上之影響

許多除草劑直接影響粒線體之呼吸作用，然而，在一般市場上沒有以此為主要作用位置的除草劑。呼吸作用抑制劑可能藉由抑制粒線體電子傳遞鏈、氧化磷酸化作用的不耦合或直接干擾粒線體耦合因子來抑制呼吸作用的過程。在一些實例當中，一種化合物可以直接抑制一個以上的這些過程。任何 protonophore 或是其他的化合物將經由影響粒線體耦合因子，ATPase 不耦合氧化磷酸化作用，耗盡粒線體 ATP 合成所需的質子流梯度。一些酚類的除草劑和某些含 NH 基之酸性除草劑都是有效的非耦合劑。大部分的光合磷酸化作用非耦合劑影響膜系的通透性，同時也不耦合粒線體之呼吸作用。在較高的濃度下，大部分的非耦合劑也抑制電子傳遞鏈。

已經發現幾種除草劑會干擾醣解作用(glycolysis)或克氏(Kreb's；TCA)循環。Pyruvate dehydrogenase 是 pyruvate 藉由克氏循環產生 acetyl-CoA 的過程中，連接醣解與克氏循環的關鍵酵素。

克氏循環的第一個步驟包含了結合 pyruvate 與輔因子 thiamine pyrophosphate (TPP)。Pyruvate dehydrogenase 是一個由多種酵素如 pyruvate dehydrogenase、lipoate acetyl- transferase 及 dihydrolipoyl dehydrogenase 組成的複合物其中的一員。研究者曾經嘗試製造以生物理性設計的 (biorational design) 除草劑，如 pyruvate-TPP 複合物的類似物；也曾發現一序列的 acyl phosphinate 類似物會抑制 pyruvate dehydrogenase 並具除草效能。迄今為止，尚無開發出商品化的此類化合物。乙醯乳酸合成酶具有 pyruvate 及 TPP 的結合位置，而且已經是除草劑最成功開發的分子作用目標。雖然至少有一些 ALS 抑制劑具有一個結合位置，會與第二個丙酮酸鹽(或是 ketobutyrate)結合位置重疊，但它們的鍵結位置不同於克氏循環中基質或輔因子的結合位置。

11.對於固醇(sterol)合成的影響

固醇及其衍生物是膜系組成上不可或缺的成分，而且有一些作用類似荷爾蒙。因此，植株適當生長和發育必須有正常的固醇含量。曾經有人討論以植物固醇合成抑制劑作為生長調節劑的潛力，然而卻沒有任何一種被開發成為除草劑。Triadimentol 及 paclobutrazol 兩種殺菌劑的鏡像異構物已被建議作為除草劑。Diclobutrazol 是一種相關的殺菌劑，其阻礙了小麥種子的發芽及幼苗的生長。這些化合物及構造上相關的化合物都會造成 α-methyl-sterols 的累積。這些化合物作用模式如同殺菌劑一般抑制 P-450 cytochrome-dependent monooxygenase 活性，此酵素在固醇生合成過程中會移除 C-14αmethyl 官能基。在植物中，這一類的化合物也會抑制 ent-kaurene oxidase 活性，此種氧化酶乃是另外一種需要 P-450 cytochrome 之氧化酶，其參與激勃素的合成過程。

四、結語

除草劑在雜草防除及管理之利用上，自 1970 年以後大量增加，初期開發推廣使用之主要作用類型除草劑大致上已有較多之研究，包括其作用機制、抗性機制、應用對象等。然而，尚有許多除草劑之除草作用機制並不清楚，甚至同一種除草劑同時具有二種以上的作用模式或目標位置，其在植物體內對於生理生化之影響仍有待確認與評估。

五、參考文獻

王慶裕。1996a。雜草對 acetolactate synthase (ALS)抑制劑之抗性機制及遺傳。中華民國雜草學會簡訊 3(4):2-4。

王慶裕(譯)。1996b。禾本科作物對硫醯尿素毒性之防治。中華民國雜草學會簡訊 3(2):3-6。

王慶裕。1997a。乙醯乳酸合成酶抑制型除草劑抗性之生化及分子遺傳。中華民國雜草學會會刊 18:119-129。

王慶裕。1997b。抑制組氨酸合成之殺草劑。科學農業 45(9.10):296-298。

王慶裕(譯)。1997c。植物對光反應系統 II 型除草劑抗性之分子基礎 I。中華民國雜草學會簡訊 4(4):7-8。

王慶裕(譯)。1998。植物對光反應系統 II 型除草劑抗性之分子基礎 II。中華民國雜草學會簡訊 5(1):5-7。

王慶裕、黃文香。1999。巴拉刈(paraquat)的抗性機制。中華民國雜草學會簡訊 6(2):4-6。

王慶裕。2000。固殺草(glufosinate)除草劑之作用及抗性機制。科學農業 48：322-324。

王貞滂、王慶裕。2003。土壤微生物分解嘉磷塞除草劑。科學農業 51:118-121。

林韶凱、王慶裕。1998。植物體對光反應系統 I 型除草劑之抗性機制。中華民國雜草學會簡訊 5(2):1-4。

吳志民、王慶裕。2002。雜草對三氮雜苯類除草劑之抗性機制及其管理策略。科學農業 50: 249-253。

黃文香、王慶裕。1999。稗草對除草寧(propanil)的抗性機制。農業世界 185:72-74。

施怡如、王慶裕。2001。生長素類型除草劑引起植物藥害之原因。中華民國雜草學會會刊 22: 53-58。

張山蔚、劉哲偉、王慶裕。2000。除草劑作用的其他位置。科學農業 48：219-225。

賴郁仁、王慶裕。2003。Chlorsulfuron 除草劑在環境中的分解與殘留。中華民國雜草學會會刊 24:49-56。

劉哲偉、王慶裕。2000a。免速隆(bensulfuron-methyl)除草劑對禾本科作物生長之影響及其抗性遺傳。中華民國雜草學會簡訊 7(1):5-7。

劉哲偉、王慶裕。2000b。免速隆(bensulfuron-methyl)除草劑及其安全劑之作用。中華民國雜草學會簡訊 7(3):4-7。

羅惠齡、王慶裕。1999a。植物對乙醯輔酶 A 羧化酵素抑制型除草劑之抗性。科學農業 47: 346-350。

羅惠齡、王慶裕。1999b。生長素類型除草劑對植物生長的影響。中華民國雜草學會簡訊 6(1):4-7。

韓岳麒、王慶裕。1998a。禾本科作物玉米對本達隆(bentazon)的耐性。中華民國雜草學會會刊 19:1-6。

韓岳麒、王慶裕。1998b。禾草類除草劑抑制雜草生長的作用機制。中華民國雜草學會簡訊 5(4):1-4。

游卓遠、王慶裕。1996。植物抗四基氮系(bipyridinium)除草劑氧化之方式及應用。中華民國雜草學會簡訊 3(3):5-7。

邱建中、鍾維榮。1996。殺草劑與雜草防除。p.177-187。中華民國雜草學會。台中區農業改良場編印。

Barnwell, P. and A.H. Cobb. 1989. Physiological studies of mecoprop resistance in chickweed (*Stellaria media* L.). Weed Res. 29:135- 140.

Barnwell, P. and A.H. Cobb. 1994. Graminicide antagonism by broad-leaf weed herbicides. Pest. Sci. 41:77-85.

Barrett, M. and F.M. Ashton. 1981. Napropamide uptake, transport and metabolism in corn (*Zea mays* L.) and tomato (*Lycopersicon esculentum*). Weed Sci. 29: 697-703.

Bloomberg, J.R. and L.M. Wax. 1978. Absorption and translocation of mefluidide by soybean (*Glycine Max*), common cocklebur (*Xanthium pensylvanicum*), and giant foxtail (*Setaria faberii*). Weed Sci. 26:434-440.

Bukovac, M.J. 1976. Herbicide Entry into Plants. p.335-364. *In:* Herbicides, Physiology, Biochemistry, Ecology. L.J. Audus, ed. Academic Press, London.

Carlson, W.C., E.M. Lignowski and H.J. Hopen. 1975. Uptake, translocation and absorption of pronamide. Weed Sci.

23: 148-154.

Chang, F.Y. and W.H. vanden Born. 1971. Translocation and metabolism of dicamba in Tartary backwheat. Weed Sci. 19: 107-112.

Cobb, A. 1992. Auxin-type Herbicides. p.82-106. *In* Herbicides and Plant Physiology. A. Cobb, ed. Chapman & Hall, London.

Crafts, A.S. 1959. Further studies on comparative mobility of labeled herbicides. Plant Physiol. 34:613-620.

Crafts, A.S. 1967. Bidirectional movement of labeled tracers in soybean seedlings. Hilgardia 37:625-638.

Darmstadt, G.L., N.E. Balke and T.P. Price. 1983. Use of corn root protoplasts in herbicide absorption studies. Pestic. Biochem. Physiol. 19:172-183.

Devine, M., S.O. Duke and C. Fedtke. Eds. 1993. Physiology of Herbicide Action. PTR Prentice Hall, A Simon & Schuster Co., Englewood Cliffs, New Jersey.

Dewey, S.A. and A.P. Appleby. 1983. A comparison between glyphosate and assimilate translocation patterns in tall morning glory (*Ipomoea purpurea*). Weed Sci. 31:308-314.

Francois, G., M. Dewit and L. Neirinckx. 1983. 2,4-Dichlorophenoxy acetic acid inhibition of potassium trassium transport in barley seedings. Physiol. Plant. 59:404-408.

Gaudiel, R. and W.H. Vanden Born. 1979. Picloram translocation and redistribution in soybean plants following root uptake. Pestic. Biochem. Physiol. 11:129-134.

Grossmann, K., S. Florene, K. Jacek and C. Gunter. 1996. Induction of abscisic acid is a common effect of auxin herbicides in susceptible plant. J. Plant Physiol. 149:475-478.

Hill, B. D., E.H. Stobbe and B. L. Jones. 1978. Hydrolysis of the herbicide benzoylprop-ethyl by wild oat esterase. Weed Res. 18: 149-154.

Hoagland, R.E. 1978. Isolation and some properties of an aryl acyl amidase from red rice, *Oryza sativa* L., that metabolizes 3', 4'-dichloropropionanilide. Plant Cell Physiol. 19:1019-1027.

Martin, D. A. 1990. Spring wheat response to herbicides applied at three growth stages. Agron. J. 82:95-97.

Moody, K.C., C.A. Kust and K.P. Buchholtz. 1970. Uptake of herbicides by soybean roots in culture solutions. Weed Sci. 18:642-647.

Morrison, I.N. and W.H. Vanden Born. 1975. Uptake of picloram by roots of alfalfa and barley. Can. J. Bot. 53:1774-1785.

Nishitani, K. and Y. Masuda. 1981. Auxin induced changes in the cell wall structure: Changes in the sugar compositions, intrinsic viscosity and molecular weight distribution of matrix polysaccharides of the epicotyl cell of *Vigna angularis*. Physiol. Plant. 52:94-103.

Peniuk, M.G., M.L. Romano and J.C. Hall. 1993. Physiological investiga-tion into the resistance of a wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) biotype to auxinic herbicides. Weed Res. 33:431-440.

Schmidt, R.R. and C. Fedtke. 1977. Metamitron activity in tolerant and susceptible plants. Pestic. Sci. 8: 611-617.

Strang, R.H. and R.L. Rogors. 1971. A microautoradiogaphic study of ^{14}C-diuron absorption by cotton. Weed Sci. 19: 355-362.

第十章　除草劑抗性雜草及其管理

袁秋英
行政院農委會農業藥物毒物試驗所公害防治組

一、前言

臺灣自 1960 年代開始使用農藥以來，藥劑種類日趨繁多，經常性及長時期使用相同的藥劑，使得欲防除的目標生物，為了適應生態環境的變異，避免族群的滅絕，於是演化出抗藥性生物種。早在 1908 年起即發現昆蟲的抗藥現象，抗殺菌劑的真菌性病原菌也於 1940 年起陸續發現，由於植物世代循環的生活史較昆蟲及微生物長，直到 1957 年才有抗除草劑雜草的首度報導。目前全球市售除草劑的化學結構及作用機制種類繁多，相對造成的抗藥性現象亦大量增加且日趨複雜，不但擾亂了作物原有的栽培管理系統並增加生產成本，也破壞了生態系多樣性的平衡。例如澳洲黑麥草(*Lolium rigidum*)已具有可抗 16 種藥劑的生物型(biotype)，其中包括 4 種以上的抗性機制，造成了管理上的難度。雜草對除草劑產生之抗性，並非由於植株在施用藥劑後所產生的突變，而是自然環境中已存在的少數生物型，經由施用除草劑之後，在藥劑的選拔壓力下突顯的存活植株。目前全球已將近有 300 種抗性雜草之生物型，遍佈美國、加拿大、澳大利亞及法國等地，以禾本科、莧科及菊科植物的抗藥性問題最嚴重。因此了解抗藥性機制為當前一重要課題，除了可探討植物對毒性物質的防禦機制，利用抗性基因轉殖於作物，亦可調整適當的田間管理系統，避免抗性草的發生及擴散。

二、抗藥性之定義

除草劑抗性執行委員會(Herbicide Resistance Action Committee, HRAC)及美國雜草學會(Weed Science Society of America, WSSA)於 1998 年定義之除草劑抗性(herbicide resistance)為一淺而易解之敘述，指一雜草族群經除草劑處理後，此劑量對藥劑敏感的植株可有效防除，族群中仍然存活的生物型(biotype)則被定義為具有抗藥性，此抗性為自然發生且可遺傳於子代。除草劑耐性(herbicide tolerance)指一雜草經除草劑處理後，仍可存活及繁殖之能力，此特性為自然發生且可遺傳於子代。一般而言，抗藥性生物型對藥劑之忍受度遠高於耐藥性植株，藥劑劑量反應與植株抑制率、存活率或產量等性狀之評估模式如圖 1 所示。

交叉抗性(cross-resistance)係指一雜草生物型，針對同抗性機制之二個以上除草劑皆具有抗性，稱之為交叉抗性。多重抗性(multiple-resistance)則指一雜草生物型，對二個以上不同抗性機制之數種除草劑，同時具有抗性的特質(Prado *et al.* 1997)。

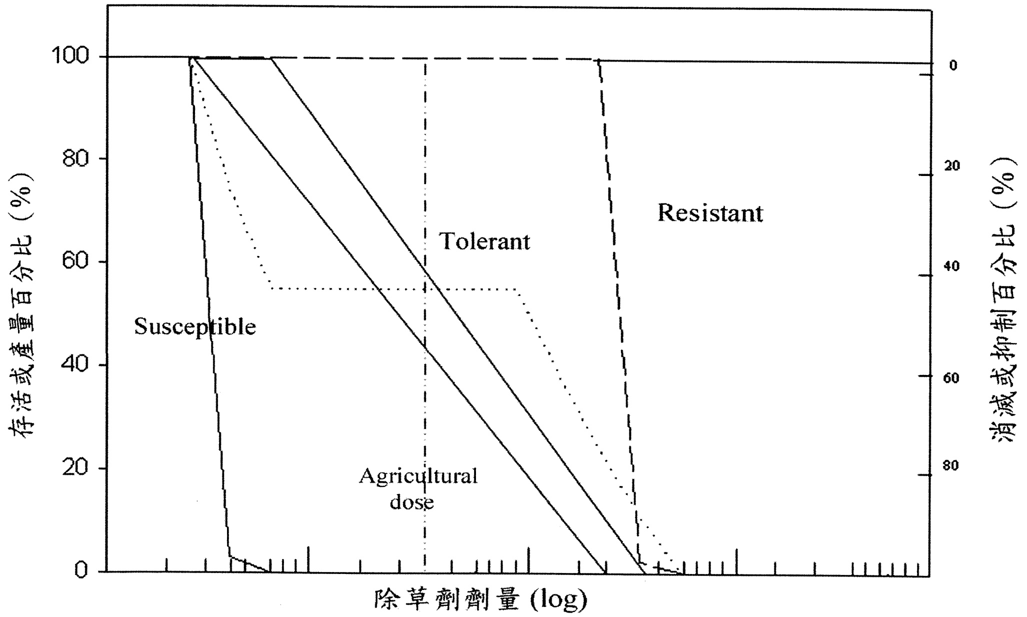

圖 1. 植物對於除草劑劑量之敏感度分為感性(susceptible)、耐性(tolerant)及抗性(resistant)三種類別。橫座標為除草劑施用劑量之對數值，縱座標為抑制率、存活率或產量等性狀(摘自 Greesel, 1985)。

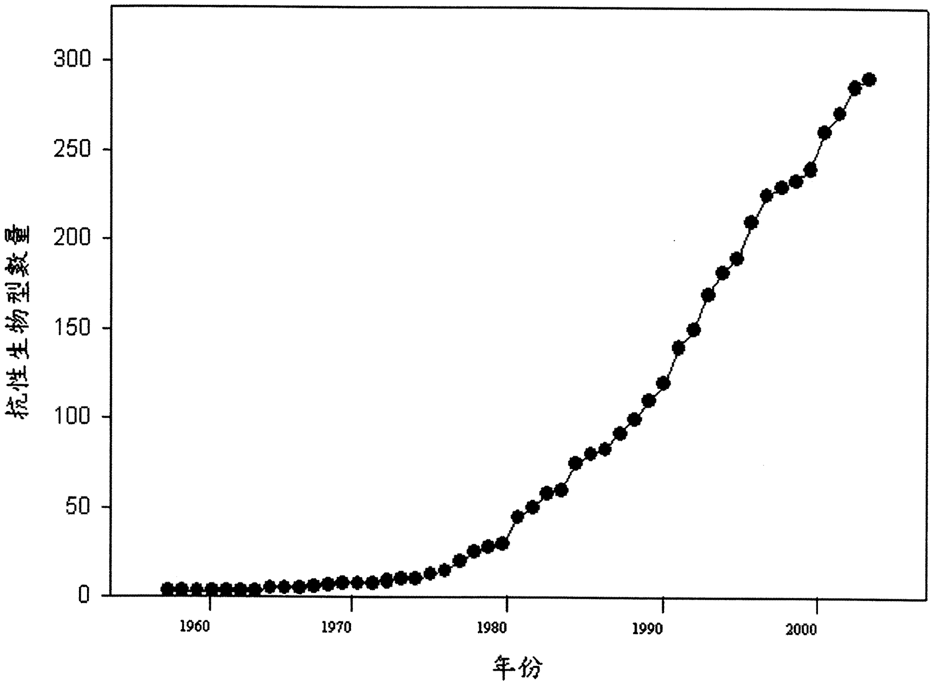

圖 2. 全球抗除草劑雜草發生之演變(摘自 http://www.weedscience.org/in.asp)。

三、抗性雜草之發生

(一)抗性雜草發生緣由

1.發生原因及歷史

雜草對除草劑產生之抗性，並非由於植株於施用藥劑後所產生的突變，而是自然環境中已存在的少數生物型，經由施用除草劑之後，於藥劑的選拔壓力下突顯的存活植株(Duke et al. 1991)。同一物種雜草的外觀形態相似度高，但基因層次微細的差異卻常具多樣性變化，其中某些變異的植株與生俱來能抵抗特定除草劑，然而此等變異植株發生的頻率極低，一般僅有百萬分之一或十億分之一的機率。當於雜草族群中噴施除草劑，對藥劑敏感植物被殺死後，抗性植株存活下來。在繼續使用數年相同藥劑之後，雜草族群中對藥劑敏感植株的數量逐漸減少，而具抗性遺傳基因型植株的數量明顯增加，約有 30%雜草無法有效防除時，才比較容易於田間觀察出抗性雜草(Holt 1992)。因此抗性雜草的發生與藥劑的使用頻度、劑量以及其他有關雜草防除之操作有關。

最早報導的抗性雜草為夏威夷蔗田中抗 2,4-D 的 Spreading dayflower (*Commelina diffusa*) 及 Wild carrot (*Daucus carota*)(Hilton 1957, Switzer 1957)。但以 Common groundsel (*Senecio vulgaris*)抗三氮苯類(triazines)藥劑生物型具有較顯著之抗性(Ryan 1970)。根據 WSSA 所屬之 HRAC 於國際抗性雜草調查 (International Survey of Herbicide-Resistant Weeds, ISHRW)顯示網站上之資料，自 1978 年起抗性雜草開始陸續被發現，至 1990 年已多達 100 種以上。而 1990 至 2000 年間，抗性生物型仍持續增加約 150 種，至 2004 年 9 月為止，全球已有 291 種抗性生物型，發生於 59 個國家，共有 174 種雜草對一種或多種除草劑具有抗性(圖 2)。

雖然最早發生抗性雜草的藥劑為人工合成的生長素類(synthetic auxin)除草劑，但抗性雜草至今仍少於 20 種生物型。於 1980 至 1990 年間，快速而大量增加的抗藥性雜草為抗三氮苯類藥劑植株，約有 65 種生物型被篩選出來(圖 3)。同時於 1980 年代末期，也陸續發生對聯吡啶類(bipyridiliums)、尿素類(ureas)、二硝基苯胺類(dinitroanilines)類藥劑、乙醯輔酶 A 羧化酵素(acetyl-CoA carboxylase, ACCase)及乙酸乳糖合成酶(acetolactose synthase, ALS)抑制劑等藥劑之抗性雜草，前三者藥劑類別的抗性雜草皆少於 20 種生物型，ACCase 抑制劑之抗性生物型約 34 種，而於 1990 至 2004 年間，造成抗性雜草大量增加的藥劑為 ALS 抑制劑，約有 86 種生物型被登錄於 ISHRW 網站，為目前造成雜草產生抗藥性的最主要除草劑類別。嘉磷塞(glyphosate)為全球使用最普遍的萌後除草劑，自上市使用約 20 年後，才首度於 1996 年在澳洲小麥田發生抗性黑麥草(*L. rigidum*)，目前已有 6 種生物型具有抗嘉磷塞之特性。其中美洲自 2000 年起即有約 10 個州郡的大豆及棉花田，出現抗嘉磷塞的加拿大蓬 (*Conyza canadesis*)，可能為抗嘉磷塞轉基因大豆及棉花田於雜草管理只施用單一嘉磷塞藥劑，因此加速抗性雜草的發生。

2.抗性雜草草發生之現況

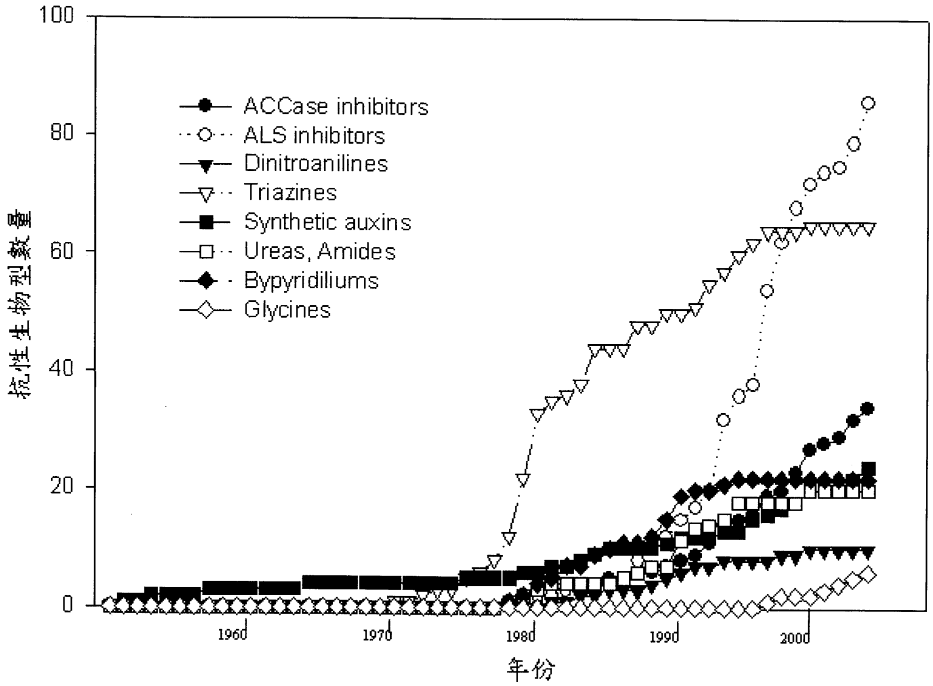

圖 3. **不同除草劑類別抗性雜草發生之演變(摘自** http://www.weedscience.org/in.asp)。

目前全球抗性雜草發生嚴重的國家包括美國、加拿大、澳大利亞、法國、西班牙及英國等，抗性生物種分別有 107、43、42、30、26 及 24 種(表 1)。HRAC 將除草劑分為 18 類型藥劑(A-Z)，易發生抗性的 10 種除草劑類別為 ALS、photosystem II (PSII)、ACCase、合成生長素、微管(microtubule)及脂肪酸合成(lipid synthesis)等抑制劑與聯吡啶類、尿素類、醯氨系類(amides)及有機磷類等藥劑，已分別鑑定出具有 6-86 種抗性生物型(表 2)。全球 174 種抗性雜草中以黑麥草、野燕麥(*Avena fatua*)、紅根莧(*Amaranthus retroflexus*)、藜(*Chenopodium album*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、稗草(*Echinochloa crus-galli*)、牛筋草(*Eleusine indica*)、地膚(*Kochia scoparia*)、加拿大蓬及 smooth pigweed

表 1. 抗性草發生嚴重的 10 個國家及抗性生物種數量。

國名	生物型數目
USA 美國	107
Canada 加拿大	43
Australia 澳洲	42
France 法國	30
Spain 西班牙	26
United Kingdom 英國	24
Israel 以色列	20
Germany 德國	18
Belgium 比利時	18
Japan 日本	16
Others 其他	193
Total	537

(摘自 International Survey of Herbicide- resistant Weeds, 2004. http://www.weedscience. org/in.asp)

表 2. 十種重要除草劑類別、作用模式、代表藥劑及抗性草數目(摘自 International Survey of Herbicide-resistant Weeds, 2004. http://www.weedscience.org/in.asp)。

HRAC 類型	除草劑類型	作用模式	除草劑	雜草
B	乙醯乳合成酶抑制劑 (ALS inhibitors)	抑制 ALS 酵素之作用	chlorsulfuron	86
C1	光系統 II 抑制劑 (PS II inhibitors)	抑制 PS II 之電子傳遞	草脫淨(atrazine)	65
A	乙醯輔酶 A 羧化酵素抑制劑(ACCase inhibitors)	抑制 ACCase 酵素之作用	diclofop-methyl	34
O	合成性生長素 (synthetic auxins)	干擾荷爾蒙平衡及蛋白質之合成	二,四-地(2,4-D)	24
D	聯吡啶類 (Bipyridiliums)	抑制 PS I 之電子傳遞	巴拉刈(paraquat)	22
C2	尿素及醯胺類 (Ureas and amides)	抑制 PS II 之電子傳遞	chlorotoluron	20
K1	二硝基苯胺類 (Dinitroanilines)	抑制微管之作用	三福林(trifluralin)	10
N	硫氨基甲酸類 (Thiocarbamates)	抑制脂肪酸合成	triallate	8
G	甘氨酸類 (Glycines)	抑制 EPSP synthase 酵素	嘉磷塞(glyphosate)	6
F3	三氮苯類(Triazoles)	抑制類胡蘿蔔素合成	amitrole	4
	其他			11
Total number of unique herbicide resistant biotypes				291

(*A. hybridus*)等 10 種雜草抗藥性問題最嚴重，分別對 3-11 種類別藥劑具抗性(表 3)，其中除了藜及 smooth pigweed 以外，皆存在對多種藥劑之多重抗性，尤其澳洲、西班牙及南非等地之黑麥草，以及加拿大、美國、英國與南非的野燕麥，皆已發生針對 3-4 種除草劑之抗性生物型。臺灣地區亦陸續有抗性草之發生，包括抗巴拉刈之臺灣野塘蒿 (*Erigeron sumatrensis*)(蔣等 1994)、耐嘉磷塞之華九頭獅子草(*Dicliptera chinensis*) (袁及蔣 2001, Yuan *et al.* 2002)及抗嘉磷塞之牛筋草(袁等 2005a, 2005b)等。

(二)易產生抗性之雜草及藥劑特質

1.易產生抗性的雜草特質：

(1) 雜草族群中易發生遺傳變異：在自然環境下，雜草族群中易產生遺傳質變異的植株，發生抗性的機率較高，且抗藥性特質容易明顯呈現。

(2)土壤中雜草種子含量多且易萌芽：土壤中對藥劑敏感個體的種子數量愈多，則抗性發生的時程愈延遲，僅有於敏感雜草種子數量減少時，抗性個體才易呈現；易萌芽的雜草較具有休眠性的雜草，快速發展為抗性族群。

表 3. 十種重要抗性雜草發生時期及藥劑(摘自 International Survey of Herbicide-resistant Weeds. 2004. http://www.weedscience.org/in.asp)。

雜草	發生時期	藥劑種類
Lolium rigidum 黑麥草	1982~1998	ACCase 抑制劑, ALS 抑制劑, 二硝基苯胺類, 三氮苯類, PS II 抑制劑, 聯吡啶類, 嘉磷塞,尿素及醯胺類, 硫氨基甲酸, 有絲分裂抑制劑, Chloroacetamides
Avena fatua 野燕麥	1985~1997	ACCase 抑制劑, ALS 抑制劑, 二硝基苯胺類硫氨基甲酸, Arylaminopropionic acid Pyrazoliums
Amaranthus retroflexus	1984~2002	PS II 抑制劑, ALS 抑制劑, 尿素及醯胺類, 二硝基苯胺類, 硫氨基甲酸, Pyrazoliums
Chenopodium Album 藜	1980~2002	PS II 抑制劑, ALS 抑制劑, 尿素及醯胺類
Setaria Viridis 狗尾草	1988~2001	二硝基苯胺類, ACCase 抑制劑, ALS 抑制劑 PS II 抑制劑
Echinochloa crus-galli 稗草	1999~2002	二硝基苯胺類, PS II 抑制劑, ACCases 抑制劑, 尿素及醯胺類, Chloroacetamides
Eleusine indica 牛筋草	1989~1996	ALS 抑制劑, ACCase 抑制劑, 二硝基苯胺類, 聯吡啶類, 嘉磷塞
Kochia scoparia 地膚	1988~1998	ALS 抑制劑, PSII 抑制劑,合成性生長素類
Conyza canadensis 加拿大蓬	1989~2002	PSII 抑制劑, 聯吡啶類, 嘉磷塞, ALS 抑制劑, 尿素及醯胺類
Amaranthus hybridus	1980~2002	PSII 抑制劑, ALS 抑制劑

(3) 雜草對除草劑敏感度之差異：使用單一除草劑可殺死 90-95%的敏感植株，因此經由藥劑的篩選壓力可提高抗性族群的形成速率。

2.易造成抗性的除草劑特質：

(1) 持續使用相同作用機制之除草劑，易形成藥劑的篩選壓力，使抗性族群易於突顯而繁殖。

(2) 長殘效期除草劑對敏感植株持續性的抑制，易使抗性族群增加。

(3) 具高度專一性作用位置之除草劑，單一作用點比具多數作用點者，易使雜草產生抗性。

四、抗性機制

(一)抗性機制概述

一般植物抗性機制(mechanism of resistance)有二策略，一為排除性之抗性(exclusionary resistance)，植物於造成毒害反應之處排除藥劑分子。另一為改變作用點之抗性(site of action resistance)，除草劑之作用屬單一作用點之傷害者，可經由單一基因突變種或轉殖單一基因，產生抗性作物。

1.排除性之抗性

由於某些植物品系於生理或形態上具有差異，使除草劑作用的特殊位置，得以不受藥劑傷害，例如葉片、根部及維管組織影響藥劑於植體之吸收與轉運。可分為下列四種方式。

(1)吸收

一般萌後藥劑經非原質體(apoplast)輸送，進入共質體(symplast)組織造成影響，其中於非共質體輸送之移動較複雜，涉及藥劑劑型、角質層(cuticle)之物理特性、植物種類、株齡及環境等因素之影響(Devine *et al*. 1993, Denis and Delrot 1993)。萌前藥劑由根部吸收需經過根、地上部及種子等部位，根部之吸收為土壤水分經表皮及皮層的主動擴散作用進入植體，藥劑由葉或根部之吸收，並非為造成作物抗性之唯一因素，可能配合其他因素形成整個植株之抗性(Devine *et al*. 1993)。

(2)轉運(translocation)

影響除草劑於植體轉運之因素，包括藥劑特性、植物種類、植物生育狀況及環境等。而經由改變轉運因素，以預期促進抗藥性提升之效果有限。假蓬屬雜草(*Conyza* spp.)對巴拉刈之抗性及 *Lotus corniculatus* 對嘉磷塞之耐性與藥劑於植體內之吸收及轉運有關(Boerboom and Wyse 1990, Lehoczki *et al*. 1992)。

(3)隔離(compartmentation)

一般親脂性藥劑進入細胞中，易被區隔於脂肪體(oil body)，形成不易移動型態(Stegink and Vaughn 1988)。或是藥劑經代謝作用後，水溶性增強易被轉運至液泡形成抗性現象。Glutathione-*S*-transferase(GST) 及 cytochrome P450 (P450)常涉及藥劑之隔離作用。

(4)代謝解毒(metabolic detoxification)

增強作物抗性最有效之方式為將藥劑代謝為無毒化合物，一般除草劑解毒之生化反應可分為氧化反應、水解反應及結合反應等。

I. 氧化反應為最重要之解毒方式，主要由單加氧酶催化反應，其中以烷基水解反應(alkyl hydroxylation)最常發生(Lamoureux and Rusness 1989)。P450 即參與本達龍、理有龍及莫多草(metolachlor)等藥劑之氧化反應(Prado *et al*. 1997)。

II. 水解反應為植物體內很常見之反應，可代謝多種藥劑毒性，包括 bromoxynil、cyanazine 及 propanil 等(Loos 1975)。

III. 結合反應：一般親脂性除草劑易與葡萄糖、胺基酸或麩胱苷肽結合，使水溶性增加而易於被代謝。麩胱苷肽與藥劑之結合在植體內最重要。主要經由 GST 催化親核性藥劑與麩胱苷肽結合，使活性藥劑直接解毒。酸性除草劑易與胺基酸結合而解毒。

2. 改變作用點之抗藥性(altered target site of herbicide action)

主要由於目標酵素的蛋白質結構及數量改變，涉及分子、生化及生理層次之反應，影響與藥劑之間的鍵結及親和力(Holt and LeBaron 1990, Smith *et al*. 1986)。大部份雜草的抗性機制屬此類型，可區分為下列三種：

(1)目標酵素之作用點變異

三氮苯類、芳烴氧苯氧羧酸、環己烯氧、硫醯尿素、嘉磷塞及 imidazolinones 等藥劑，皆可篩選出具有標的酵素作用點變異的抗性生物型。

表 4. 常見除草劑之抗性機制。

作用型式	除草劑	雜草	抗性機制
ACCase 抑制劑	AOPPs	義大利黑麥草,牛筋草 野燕麥, *Setaria viridis* 黑麥草	ACCase 基因的作用點改變 ^{1781}Ile 改變為 Leu
	AOPPs 及 CHDs	*Alopecurus myosuroides*	^{1781}Ile 改變為 Leu
	AOPPs	*A. myosuroides*	^{2041}Ile 改變為 Asn
	AOPPs 及 CHDs	義大利黑麥草	解毒機制(GST 參與)
	AOPPs 及 CHDs	強生草	ACCase 酵素大量生產
ALS 抑制劑	硫醯尿素類及 Imidazolinones	多年生黑麥草 *Lactuca sativa* 等	ALS 基因的作用點改變 ^{197}Pro 改變為 His, Thr, Arg, Leu, Gln, Ser, Ala 或 Ile
		Xamthium strumarium	^{205}Ala 改變為 Val
		Amaranthus hybridus	^{574}Trp 改變為 Leu
		A. powelli	^{659}Ser 改變為 Thr
	Imidazolinones	*A.* spp	^{122}Ala 改變為 Thr
		A. rudis	^{653}Ser 改變為 Asn
	硫醯尿素類及 Imidazolinones	*A. blitoides*	^{569}Try 改變為 Leu
	依滅草除外	*A. blitoides*	^{188}Pro 改變為 Ser
	硫醯尿素類	黑麥草 稗草 *Monochoria vaginalis*	代謝解毒作用
EPSPS 抑制劑	嘉磷塞	鵝觀草 黑麥草 加拿大蓬	吸收轉運之阻礙
		矮牽牛、番茄、菸草	EPSPS 酵素大量形成
		Corydalis sempervirens 華九頭獅子草	EPSPS 轉錄速率增加
		牛筋草	EPSPS 基因作用點改變 ^{106}Ser 改變為 Pro 或 Ala
PS II 抑制劑	三氮苯類	*Amaranthus hybridus* *A. tuberculatus* *Chenopodium album* *Senecio vulgaris* *Kochia scoparia*	*psb* A 基因作用點改變 ^{264}Ser 改變為 Gly
	達有龍,理有龍	早熟禾	*psb* A 基因作用點改變 ^{219}Val 改變為 Ile
	三氮苯類	*Abutilon theophrasti*	解毒機制 (GST 參與)
		黑麥草	解毒機制 (P450 參與)
		Blackgrass	解毒機制
PS I 抑制劑	巴拉刈	美洲假蓬 黑麥草	藥劑被隔離
		加拿大蓬 *Hordeum leporinum* *H. glaucum*	藥劑被隔離於液泡中
		多年生黑麥草 美洲假蓬 加拿大蓬	抗氧化酵素之解毒作用
細胞分裂 抑制劑	二硝酸苯胺	牛筋草	藥劑與 α-tubulin 鍵結之親和力降低 (^{239}Thr 改變為 Ile)

(2)基因增殖或目標酵素大量形成

此現象常見於以細胞或癒傷組織為測試植材，於培養基內漸進添增藥量而篩選之抗性株。例如芳烴氧苯氧羧酸、硫醯尿素及嘉磷塞藥劑處理後，造成ACCase、ALS 及 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS) 基因擴增，三種酵素大量產生，使得藥劑於作用位置呈現被稀釋現象(Goldsbrough *et al*. 1990, Smith *et al*. 1986)。

(3) 目標酵素的編碼基因轉譯作用(transcription)速率增加

抗嘉磷塞華九頭獅子草(*Dicliptera chinensis*) EPSPS 酵素及抗巴拉刈美洲假蓬(*C. bonariensis*)抗氧化酵素活性之增加，並非基因擴增造成者，而是經由除草劑處理後，誘導 mRNA 表現量增加之故 (Ye and Gressel 2000, Yuan *et al*. 2002)。

(二)常見之抗性機制

1.光系統 I (PSI)抑制劑之抗性機制

藥劑類別主要為聯吡 啶類包括巴拉刈(paraquat)及大刈(diquat)。巴拉刈抗性最早發生於 1982 年，在每年施用 2~3 次藥劑，使用約 10 年後 *L. porenne* 被篩選出抗性生物型(Polos *et al*. 1988)。至 2004 年 9 月止，共有 22 種雜草具抗 bipyridiliurns 特性。例如野莧 (*A. lividus*)、鬼針草(*Bidens pilosa*)、龍葵(*Solanum nigrum*)、假蓬屬雜草及牛筋草(Heap 2004)。

有關巴拉刈抗性機制目前仍無法確切證實。早期的研究指出，抗性產生的原因可能與抗氧化酵素的增加有關，但由於巴拉刈於光照下會迅速且大量的產生自由基，相對應的抗氧化酵素是否可適時適量的解除自由基造成的傷害，目前仍存疑。經由利用原生質體、單離之葉綠體及類囊體膜(thylakoids membrane)等不同胞器，對巴拉刈藥劑反應之相關研究顯示，抗感生物型之間並無明顯差異(Norman *et al*. 1993)。利用自動放射顯影術(autoradiography)可呈現抗性生物型於細胞壁的某些特質，包括較易與多元胺(polyamines)鍵結，細胞壁組成含較高酯化之果膠(esterified pectins)等現象(Vaughn 2000)，顯示抗性可能與藥劑被隔離有關，或是抗氧化酵素與隔離現象共同作用之結果。此外，巴拉刈之抗性亦可能受單一顯性基因控制(Itoh and Miyahara 1984)。

巴拉刈的抗性機制有二種類型：

(1)抗氧化酵素之解毒作用

多年生黑麥草(*L. perenne*)抗性生物型可活化 catalase (CAT)、peroxidase (POD)、glutathione reductase(GR) 及 superoxide dismutase (SOD)等抗氧化酵素而解毒 (Harper and Harvey 1978, Shaaltiel *et al*. 1988)。美洲假蓬(*C. bonariensis*)抗性生物型噴施巴拉刈後，葉片內 SOD、ascorbate peroxidase (APX)、glutathione peroxidase (GP)、dehydroascorbate reductase 及 monodehydro ascorbate reductase 等酵素活性均有增加現象(Shaaltiel and Gressel 1985, Ye and Gressel 2000)。類似反應亦發生於加拿大蓬，其抗性生物型之 SOD、POD、APX 及 CAT 活性皆高於敏感生物型 (Pyon *et al*. 2004)。

(2)藥劑快速被固著(sequestration)

一般而言，藥劑被隔離的方式有二

種，一為藥劑吸附於細胞組成中，通常易結合於細胞壁；另一為藥劑隔離於細胞液胞中，皆可避免藥劑抵達作用部位造成傷害(Fuerst and Vaughn 1990)。美洲假蓬葉圓片於巴拉刈溶液中處理 24h，造成敏感株葉片白化，但抗性株只於葉緣呈現白化現象，推測巴拉刈經葉緣吸收後即快速被牽制(Vaughn 2000)。部份的聯吡啶類除草劑會積聚在根部組織中，可能是由於二價的多元胺作為載體，將巴拉刈攜帶至根部聚積(Hart *et al.* 1992)。然而，也可能有其他的原因，包括了增加細胞膜對除草劑的吸附能力，以及除草劑在到達光系統 I 活化中心前，被攔阻下來。一般植物細胞壁的果膠組成具有去酯化的 galacturonase，可改變陽離子之性質。因此雙價陽離子之巴拉刈，於美洲假蓬葉表可強烈的吸附於細胞壁陽離子之交換位置(Norman *et al.* 1993, Vaughn 2000)。

巴拉刈為陽離子型藥劑，以雙價陽離子(PQ^{2+})形式存在，因此巴拉刈藥液可因鈣及鎂離子之相互作用，主動運輸至膜系胞器。美洲假蓬經由 ^{14}C－巴拉刈測試結果顯示，巴拉刈於抗性生物型植體內之移動受限制，葉片液泡中的 ^{14}C－藥劑含量低於 50%，或巴拉刈被隔離於液胞中(Fuerst and Vaughn 1990)。此外 *Hordeum leporinum* 及 *H. glaucum* 抗性生物型研究顯示，巴拉刈被隔離於液胞中(Preston *et al.* 1992)。加拿大蓬抗巴拉刈生物型經處理後，可誘導一蛋白質形成，此蛋白質可能扮演將藥劑攜帶入液泡的功能，因此降低巴拉刈對細胞的傷害(Halasz *et al.* 2002, Szigeti and Lehoczki 2003)。黑麥草噴施巴拉刈後，抗感植株的 SOD 及 APX 無顯著差異，藥劑於葉表的吸收亦相似，因此推測黑麥草的抗性可能與巴拉刈被隔離有關(Yu *et al.* 2004)。

2.光系統 II (PSII)抑制劑之抗性機制

PSII 抑制劑之藥劑類別及代表藥劑分別為：三氮苯類 triazines(如草脫淨，atrazine)、triazinones(如滅必淨，metribuzin)、uracils(如克草，bromacil)、nitriles(bromoxinil)、phenylureas(如達有龍，diuron；理有龍，liuron)、phenyl-pyridazines(如必汰草，pyridate)及 benzothiadiazinone(如本達龍，betazon)。三氮苯類除草劑抗性生物型最早於 1968 年發生在美洲之千里光(*Senecio vulgaris* 菊科植物)(Ryan 1970)。至 2004 年 9 月止，抗三氮苯類、尿素類及醯胺類藥劑之雜草已有 65 及 20 種(Heap 2004)。

PSⅡ抑制劑的抗性機制有二種類型：

(1)*psb*A 基因的作用點改變

PSⅡ抑制劑的抗性機制首度報導於莧科植物(*Amaranthus hybridus*)抗三氮苯類藥劑，由於 PSⅡ系統中 *psb*A 基因所編碼出之 D_1 蛋白質發生改變，使得 D1 蛋白質之胺基酸 ^{264}serine (Ser)被 glycine (Gly)取代，因此降低了藥劑與 D_1 蛋白質鍵結之親和力(Hirschberg *et al.* 1984)。此外，藜、*A. powellii*、*Senecio vulgaris* 以及 *Kochia scoparia* 等抗三氮苯的生物型，也有相同胺基酸位置之改變(Bettini *et al.* 1987, Diebold *et al.* 2003, Radosevich *et al.* 1979, Foes *et al.* 1999)。近年來於 *A. powellii* 及早熟禾(*Poa annua*)生物型中發現 D1 蛋白質之

[219]valine(Val)轉變為 iosleucine (Ile)，亦具有抗理有龍及達有龍特性(Dumont and Tardiff 2002, Mengistu *et al*. 2000)。於 *Amaranthus* 及 *Chenopodium* 屬雜草中可普遍發現 PSII 抑制劑之交叉抗性現象(Diebold *et al*. 2003, Solymosi and Lehoczki 1989)。由於 *psb*A 基因所編碼之蛋白質胜肽 其 [264]Ser 改變為 Gly，變造成整個電子傳遞速率降低(Gronwald and Anderson 1989)，因此 PSⅡ抑制劑抗性植株之光合效率及固碳能力亦較低，進而影響生物量與產量，為生長勢較衰弱的生物型。大部分三氮苯類藥劑的抗性機制皆為此等單一作用點突變，然而 *A. tuberculatus* 之草脫淨抗性生物型有兩類別，屬於 *psb* A 基因改變者抗性增加為 770 倍，非 *psb* A 基因改變者抗性增加約 16 倍，後者之抗性原因仍不明(Patzoldt *et al*. 2003)。

(2)解毒機制

一般對於三氮苯類藥劑具有天然耐性的植物，大都涉及增加植物的解毒能力，例如玉米及高粱(Shimabukuro 1985)。許多雜草也具有類似功能，velvetleaf (*Abutilon theophrasti*)對於三氮苯的抗性，歸因葉及莖內的 GST 酵素，催化草脫淨與麩胱苷 肽之鍵結，避免藥劑的傷害(Gray *et al*. 1996, Gronwald *et al*. 1989)。黑麥草的抗草滅淨(simazine)特性亦為解毒作用，但是黑麥草之抗性是經由植體內 P450 酵素之作用，將藥劑氧化為不具活性之 de-ethyl simazine 或 di-de-ethyl simazine 得以解毒(Burnet *et al*. 1993a, 1993b)。大穗看麥娘(*Alopecurus myosuroides*)對於草脫淨的抗性可能涉及 GST 或 P450 活性(Heap 2004, Cummins *et al*. 1999)

3. ALS 抑制劑之抗性機制

ALS 抑制劑之藥劑類別及代表藥劑分別為：硫醯尿素類 sulfonylureas，例如免速隆(bensulfuron-methyl)、百速隆(pyrazosulfuron-ethyl)、伏速隆(flazasulfuron)、依速隆(imazosulfuron)、亞速隆(ethoxysulfuron)及西速隆(cinosulfuron)等。Imidazolinones，例如依滅草(imazapyr)。Triazolopyrimidines，例如 pyrimidinyl(thio)及 benzoate 等。ALS 抑制劑抗性最早發生於 1999 年的 *Lactuca serriola*(Eberlein *et al*. 1999)。至 2004 年 9 月止，已有多達 86 種雜草具有抗性生物型，為發生抗性最嚴重的藥劑類別。包括莧科雜草、假蓬屬雜草、野燕麥、牛筋草及黑麥草等(Heap 2004)。有關 ALS 抑制劑的抗性研究顯示，目前抗性生物型主要的機制在於降低 ALS 酵素對藥劑的敏感度，以及促進藥劑於植體內之代謝，。

ALS 抑制劑之抗性機制有二種類型：

(1)ALS 酵素與抑制劑之親和力降低

具有抗 ALS 抑制劑多年生黑麥草(*L. peresine*)、俄羅斯薊(*Salsola iberica*)及 common chickweed(*Stellaria nedia*)之生物型，皆為含有對藥劑敏感度低的 ALS 酵素(Saari *et al*. 1992)。經由對硫醯尿素類藥劑具抗性 *Lactuca sativa* 之 ALS 基因研究發現，抗性株基因發生單一鹼基改變，使其編碼的胺基酸 [197]proline(Pro)改變為 histidine(His)(Eberlein, 1999)。相似之單一鹼基改變亦發生於其他植物，已有 5 個胺基酸位置被鑑定出胺基酸之取代，而產生對 ALS 抑制劑的抗性，例

如 ^{122}Ala/Thr (*Amaranthus* spp)、^{205}Ala/Val (*Xamthium strumarium*)、^{574}Trp/Leu (*A. hybridus*)、^{59}Ser/Thr (*A. powelli*)或 ^{653}Ser/Asn (*A. rudis*)，其中 ^{197}Pro 處最易發生改變，於不同植物可分別改變為 His、Thr、Arg、Leu、Gln、Ser、Ala 或 Ile，上述之改變皆可抗硫醯尿素類及 imidazolinone 類型的除草劑。唯第 122 及 653 位置上的胺基酸變異可抗 imidazolinone 藥劑，但對於硫醯尿素類藥劑仍敏感(Tranel and Wrignt 2002)。菊科植物(*Aster squamatus*)抗依滅草生物型亦對 ALS 抑制劑具交叉抗性，藥劑於抗感植株之吸收及轉運皆無明顯差異，但抗性生物型 ALS 酵素活性較敏感植株高 4 倍，因此研究者推測其抗性機制為 ALS 對藥劑之敏感度降低之故(Osuna *et al*. 2003)。近年來 *A. blitoides* 植物於 ALS 基因發生兩處變異之生物型，其編碼之胺基酸分別由敏感植株之 ^{188}Pro 轉變為 Ser 或 ^{569}Try 轉變為 Leu，前者可抗依滅草以外的所有 ALS 抑制劑，後者可抗所有 ALS 抑制劑(Sibony and Rubin 2003)。

(2)代謝解毒作用

黑麥草經 chlorosulfuron 藥劑處理後，抗性生物型可於 6 小時內快速將 chlorosulfuron 與葡萄糖結合而解毒(Cotterman 1992)。稗草抗 primsulfuron 生物型經由水解反應及糖基化作用(glycosylation) 可快速將藥劑代謝(Neighbors and Privalle 1990)。Kuk *et al*. (2003) 測定 *Monochoria vaginalis* 之 ALS 酵素活性，*in vitro* 試驗結果顯示，抗性生物型 ALS 活性為敏感型之 31-183 倍，但是於 *in vivo* 試驗抗感植株的 ALS 活性無明顯差異，因此作者推測抗性生物型除了於 ALS 有變異之外，可能也有對藥劑解毒的機制。

4.ACCase 抑制劑之抗性機制

ACCase 抑制劑之藥劑類別及代表藥劑分別為：(1)芳烴氧苯氧羧酸 aryloxyphenoxy propionates (AOPP, fops)，包括伏寄普(fluazifop)、快伏草(quizalofop-ethyl)、甲基合氯氟(haloxyfop-methyl)、芬殺草(fenoxaprop)、普拔草(propaquizafop)、diclofop 及 clodinafop。(2)環己烯氧 cyclohexane diones(CHD, dims)，包括西殺草(sethoxydim)、環殺草(cycloxidim)、亞汰草(allxydim)及剋草同(clethodim)。此二類藥劑皆為萌後藥劑，可有效防除一年生及多年生禾草，通稱為禾草類除草劑。ACCase 抑制劑抗性最早發生於 1982 年在澳洲之黑麥草(Heap and Knight 1982)，至 2004 年 9 月止，已有 34 種雜草對 ACCase 抑制劑具抗性(Heap 2004)，包括野燕麥、稗草、馬唐草(*Digitaria sangunalis*)及 *E. colona* 等(Heap 2004)。

ACCase 抑制劑之抗性機制有三種類型：

(1)ACCase 基因改變

現階段之研究顯示 ACCase 酵素對於 AOPPs 及 CHDs 藥劑敏感度差異的分子特性，仍不明確。小麥(*Triticum aestivum*)葉綠體的 ACCase 其 CT domain 含有對 ACCase 抑制劑的一重要位置(Nikolskaya *et al*. 1999)。此類抗性生物型，大都可降低對藥劑之敏感度。義大利黑麥草抗性生物型經 diclofop 處理後，其 ACCase 活性為敏感生物型之 28 倍(Gronwald *et al*. 1992)。一般禾本科植

物有 2 個 ACCase isoform，ACCase-I 及 ACCase-Ⅱ，其中 ACCase I 位於質體內，對禾本科藥劑敏感，ACCase-Ⅱ位於質體外，含量較少但具有抗性。馬來西亞的牛筋草於施用 4-5 年 ACCase 抑制劑的田區發生抗性生物型，尤其對伏寄普藥劑的忍受度增加 100 倍以上，推測其抗性機制可能為 ACCase 之改變(Leach *et al.* 1995)。黑麥草、野燕麥、*Setaria viridis* 及 *Alopecurus myosuroides* 抗性生物型之葉綠體 ACCase 於胺基酸序列皆發生改變 (Zagnitko *et al.* 2001, Christoffers *et al.* 2002, Délye *et al.* 2002, Volenberg and Stoltengerg 2002)。其中黑麥草及 *A. myosuroides* 之 ACCase 胺基酸於敏感植株為 ^{1781}Ile，但抗性生物型改變為 Leu，具有抗 AOPPs 及 CHDs 兩種藥劑類型之特性(Zagnitko *et al.* 2001, Délye *et al.* 2002)。Délye *et al.* (2002, 2004)報導澳洲地區之 *A. myosuroides* 亦發生 ACCase 之胺基酸於敏感植株為 ^{2041}Ile，但抗性生物型改變為 Asn 者，且此變異只具有抗 AOPPs 藥劑之特性，對 CHDs 藥劑仍敏感，可能由於不同地區藥劑篩選壓力造成抗性族群遺傳質之差異。

(2)解毒作用

小麥之 AOPPs 藥劑之抗性株可將藥劑快速經由水解及 arylhydroxylation 作用為無毒化合物，主要機制為植體內 P450 使 diclofop 改變為環狀含羥基之 diclofop，再快速與葡萄糖形成不活化型式之葡萄糖結合物(Romano *et al.* 1993)。英國的義大利黑麥草於 1993 年起，發現 ACCase 抑制劑的抗性生物型，經由 ACCase 及 GST 酵素活性分析結果顯示，藥劑可被部份義大利黑麥草族群代謝，其抗性可能為一種解毒機制(Cocker *et al.* 2001)。

(3)ACCase 酵素大量生產

強生草(johnsongrass)之抗性及敏感植株對禾草類除草劑之 ACCase I_{50} 值皆相同，但是抗性株 ACCase 比活性(specific acticity)為敏感植株的 2-3 倍，作者推測其抗性機制為 ACCase 大量生產所致(Bradely *et al.* 2001)。

5.EPSPS 抑制劑之抗性機制

目前市售除草劑僅嘉磷塞屬於 EPSPS 酵素抑制劑，嘉磷塞為全球使用最普遍的萌後除草劑，但在上市使用後約 20 年才出現抗藥性問題。抗性雜草最早於 1996 年發生在澳洲地區的黑麥草(*Lolium rigidum*)，之後陸續於美洲、南非、馬來西亞及台灣等地，出現抗性之義大利黑麥草、牛筋草、加拿大蓬、美洲假蓬及車前草(*Plantago lanceolata*)等 6 種雜草之生物型(Heap 2004)。

嘉磷塞之抗藥機制有四種類型：

(1)吸收轉運之阻礙

經由 ^{14}C 標示嘉磷塞測定結果顯示，birdfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L.)、field bindweed (*Convolvulus arvensis* L.)、hemp dogbane (*Apocymum cannabinum* L.)及鵝觀草(quackgrass; *Agropyron repens* Beauv.)等雜草，高度耐藥特性主要原因為藥劑於植體之吸收及轉運受阻之故(Boerboom 1990, DeGennaro and Weller 1984, Klevorn and Wyse 1984, Wyrill and Burnside 1976)。一般而言，嘉磷塞進入植物體內大都經由韌皮部(phloem)輸送到莖頂，然而嘉磷塞於抗性黑麥草的轉運主要位於木質部

(xylem)，造成成熟葉片比生長點部位累積較多藥液，因此形成抗性(Lorraine-Colwill *et al.* 2001)。由於加拿大蓬抗性及敏感植株噴施嘉磷塞後皆會造成莽草酸(shikimic acid)含量的增加，因此推測抗性植株的 EPSPS 亦為對嘉磷塞敏感之酵素，而加拿大蓬的抗性可能與藥劑於植體內的轉運與分布有關，其作用機制仍不明確，但可能由一顯性基因控制其抗藥性(Heck *et al.* 2002, Feng *et al.* 2004)。

(2)EPSPS 酵素大量形成

嘉磷塞抗性研究初期，於細胞株培養基中添加少量藥劑，再於存活細胞繼代培養，經由逐漸增加藥量而篩選出具抗嘉磷塞的細胞株，其中矮牽牛、番茄、胡蘿蔔、菸草及 *Corydalis sempervirens* 抗性細胞的 EPSPS 活性分別增加 8.5、8、30、20 及 10 倍，主要原因為 EPSPS 基因增幅及 EPSPS 酵素含量增加之故(Nafziger *et al.* 1984, Smith *et al.* 1986, Steinrüchen *et al.* 1986, Hollander-Czytko *et al.* 1992, Goldsbrough *et al.* 1990)，此抗性現象主要發生於嘉磷塞壓力下的結果，一但將藥劑移除，其抗性會逐漸遞減，無法於田間栽培環境下長期具有抗藥特性(Bradshaw *et al.* 1997)。

(3)EPSPS 轉錄速率增加

Corydalis sempervirens 之耐性細胞，其 EPSPS 酵素含量增加之原因為 EPSPS 基因進行轉錄速率(transcription rate)增加之故(Hollander-Czytko *et al.* 1992)，黑麥草抗性植株 EPSPS mRNA 之表現量為敏感植株之 2~3 倍(Baerson *et al.* 2002a)。華九頭獅子草耐性機制亦與 EPSPS 轉錄速率增強有關(Yuan *et al.* 2002)。

(4)EPSPS 酵素與嘉磷塞親和力降低

馬來西亞與台灣地區的牛筋草陸續於 1997 及 2001 年發生嘉磷塞抗性生物型，抗性原因主要為 EPSPS 發生變異，敏感植株 ^{319}C 鹼基改變為 G 或 T，經轉譯後敏感植株胺基酸 ^{106}Ser，於馬來西亞及台灣抗性株分別改變為 ^{106}Pro 及 ^{106}Ala，造成 EPSPS 與嘉磷塞鍵結之親和力降低，因此產生抗性(袁等 2005b, Baerson *et al.* 2002)。

6.細胞分裂抑制劑之抗性機制

細胞分裂抑制劑之藥劑類別及代表藥劑分別為：二硝酸苯胺(dinitroanilines)，例如施得圃(pendimethalin)，三福林(trifluralin)；氨基甲酸(carbamates)，例如亞速爛(asulam)，pyridines，汰硫草(dithiopyr)；benzoic acid，例如除草寧(DCPA)：phosphoroamidates，例如 butamiphos；benzamides，例如 pronamide。二硝酸苯胺類藥劑抗性的牛筋草最早於 1972 年發生於美洲。至 2004 年 9 月止，有絲分裂抑制劑的抗性雜草已有 10 種，包括稗草、黑麥草、野燕麥及 *Alopecurus myosuroides* 等(Heap 2004)。

牛筋草抗性生物型對二硝酸苯胺藥劑之耐性為敏感型的 60 倍，主要原因為抗性牛筋草 α-微管蛋白(α-tubulin)基因有 3 處鹼基改變，由於甲基化之 cytosine 發生自發性去胺作用(deamination)使 ^{715}cytosine 改變為 thyamine，使其編碼的胺基酸 ^{239}Thr 改變為 IIe(Anthony *et al.* 1998)。由於 ^{239}Thr 於 tubulin 鄰近於與 microtubulin profilament mononer 的作用位置，因此改變 Thr 為 IIe，造成藥劑與

tubulin 的親和力降低 60 倍(Yamamoto *et al*. 1998)。α-微管基因之 ^{24}Tyr 改變為 His 以及 ^{268}Met 改變為 Thr，由於可略為改變疏水特性，使得 α-微管蛋白質形成二聚體(dimmer)，穩定度可增加 60 倍(Richard *et al*. 1999)。黑麥草經 ^{14}C-三福林藥劑測定結果，抗感植株對藥劑的吸收及轉運無明顯差異，大部份藥劑累積於根部，目前其抗性機制仍不明確(McAlister *et al*. 1995)。

7.多重抗性(multiple resistance)

黑麥草、野燕麥、狗尾草、稗草、牛筋草、地膚、加拿大蓬及 redroot pigweed 等抗藥性問題嚴重的雜草，皆存在多重抗性現象。黑麥草普遍分布於澳洲南部，且常呈高密度族群，即使誘發頻率很低，仍有少數個體具有抗性基因。植株間授粉亦可混合抗性基因，因此，存活植株具有不同抗性機制，再經由不同除草劑噴施，即可快速篩選出多重抗性植株。因此除了人為之篩選以外，植株生理特性亦為造成多重抗性之重要因素。雜草經由增加代謝能力之抗性，效率一般低於經由作用點變異產生抗性者，但可同時抵抗多種藥劑之傷害，例如黑麥草經由噴施伏寄普產生抗性後，對 chlorosulfuron (ALS 抑制劑)亦可產生抗性，且抗 chlorosulfuron 生物型之族群大於抗伏寄普者(Christopher *et al*. 1991, Cotterman and Saari 1992)。黑麥草對硫醯尿素類藥劑之抗性，是由於 P450 對藥劑發生氧化作用之故(Christopher *et al*. 1994)。目前黑麥草族群可抗 16 種藥劑，影響 11 個藥劑作用位置，其中 SLR 31 及 VLR 69 品系分別抗 11 及 8 種藥劑(Tardif *et al*. 1997, Prado *et al*. 1997)，主要抗性機制可能有 4 種：包括抗性酵素、目標酵素之改變、解毒代謝以及膜系非極性化(membrane depolarization)傷害之復原等。此類多重抗性機制並不常見於其他植物，因為抗性發生的速度，受許多因素之影響，包括族群中抗性基因之誘導頻率、被處理植株之個體數量、選拔壓力之時間長短與頻率及植株繁殖系統等(Maxwell and Mortimer 1994)。一旦雜草發生多重抗性，可使用的有效藥劑種類則受限，防除難度高，需配合其他非藥劑的管理方法，才可有效防除。

五、抗性雜草之管理策略及方法

防止抗性雜草發生之原則為減少藥劑選拔壓力，需考量栽培系統、用藥方式及雜草管理層面之整體規劃。除草劑使用之原則可區別為三種：(1)輪流使用不同作用機制之除草劑。(2)混合使用不同作用機制之除草劑。(3)使用殘效其較短之藥劑以及避免過量使用藥劑，以免產生藥劑之選拔壓力。混用除草劑可增加殺死雜草之效果，亦可經由對植物不同作用位置之抑制效果，達成防除抗性生物型的目的。一般雜草自然突變形成抗性生物型之機率為 10^{-5}，混用不同作用機制藥劑，而產生雙抗突變之機率約為 10^{-15}，顯示多重抗性發生的可能性極低(Wrubel and Gressel 1994)。有效混合用藥之考量，包括可防除相同類別雜草之藥劑，以及具有不同抗性機制之藥劑。

(一)如何防止或延緩抗性雜草之發生

可採行之做法如次: (1)輪用除草劑:

依據HRAC分為18類型作用機制之除草劑(A-Z)，安排輪流施用藥劑。(2)使用殘效其較短之藥劑。(3)噴施除草劑之後監測田區狀態：觀察田間雜草於噴藥前後草相的變化，發現無法防除者立即消除。(4)作物輪作：選用不同栽種季節的作物、不同推薦藥劑的作物或不同雜草管理方法的作物。(5)維繫農具清潔，防止雜草種子經農具而散播他處。及(6)採用綜合防制法：配合非化學方法之管理，包括耕耘、人工或機械除草及覆蓋等方法(Holt 1992)。

(二)抗性雜草之管理方法

根據各種雜草管理方式產生雜草抗性之風險評估(表 5)，在抗性雜草之管理上，主要之原則包括下列七點: (1)輪用除草劑:依據 HRAC 分為 18 類型作用機制之除草劑(A-Z)，安排輪流施用藥劑。(2)混用不同作用機制之除草劑，但需兼顧全面防除之效果及降低用藥劑量，方可避免成本增加。(3)避免抗性雜草產生種子：種子形成前即防除。(4)隔離式栽培：確保 90%以上之雜草防除效果，降低雜草於田區間之移動。(5)採用休耕方式降低抗性雜草擴散。(6)維持農具清潔，防止雜草種子經農具而散播他處。及(7)監控抗性雜草之發生：管理田區內雜草種子庫、記錄除草效果等。

六、結語

除草劑抗性之發生源於藥劑的作用模式，由於作物田施用化學性除草劑為一種違反自然界生物多樣性法則之操作，因此大自然回報以抗性草的發生。全球抗性問題大量增加且日趨複雜，雜草之抗性機制有二型式，一為排除性之抗性，包括吸收、轉運、隔離及代謝等方式，另一為改變目標酵素作用位置之抗性，包括目標酵素之基因變異造成之作用位置改變、目標酵素大量形成以及目標基因轉譯作用速率增加。一種雜草

表 5. 各種雜草管理方式產生雜草抗藥性之風險評估(摘自 Valverde *et al.* 2000)。

管理方式	抗藥性風險		
	低	中	高
混用藥劑或輪作	二種作用機制	二種作用機制	一種作用機制
作物栽培系統	栽培方法	栽培法及化學法	化學法
雜草防除方法	機械法及化學法		
每季使用相同作用機制之藥劑	一次	二次以上	多次
耕作系統	輪作	偶用輪作	無輪作
抗性之作用機制	未知	有限	普遍
雜草繁殖力	低	中等	高
近三年之防制效果	好	不佳	差

可能對一種藥劑具有多種抗性機制，例如抗巴拉刈之美洲假蓬及加拿大蓬，不僅抗氧化酵素含量增加，亦可能伴隨藥液快速被隔離之機制。此外一種雜草之生物型亦可能同時對多種藥劑具抗性，例如黑麥草有可抗 16 種藥劑，涉及之抗性機制有 4 種以上。因此，欲發展理想之管理策略，基本原則為減少藥劑選拔壓力，經由對抗性機制之了解，慎選輪用或混用之除草劑類別。同時，應當配合作物栽培方式、時期及非化學藥劑的雜草管理，兼顧經濟效益及生態保育的理念，方可建立有效防止或延遲雜草抗藥性發生的綜合管理策略。

七、參考文獻

袁秋英、蔣慕琰。2001。華九頭獅子草對嘉磷塞之反應。植保會刊 43: 29-38。

袁秋英、謝玉貞、蔣慕琰。2005a。牛筋草(*Eleusine indica*)對嘉磷塞抗藥性反應之測定。植保會刊(已接受)。

袁秋英、謝玉貞、蔣慕琰。2005b。臺灣抗嘉磷塞牛筋草－標的酵素 EPSP synthase 基因選殖及抗藥性之分子鑑定。植保會刊(已接受)。

蔣永正、蔣慕琰、朱德民。1994。臺灣野塘蒿(*Erigeron sumatrensis*)對巴拉刈(paraquat)抗藥性之研究。中華民國雜草學會會刊 15:1-19。

Anthony, R.G., T.R. Waldin, J.A. Ray, S.W.J. Bright and P.J. Hussey. 1998. Herbicide resistance caused by spontaneous mutation of the cytoskeletal protein tubulin. Nature 39:260-263.

Baerson, S.R., D.J. Rodriguez, M. Tran, Y. Feng, N.A. Biest and G.M. Dill. 2002. Glyphosate-resistant goosegrass. Identification of a mutation in the target enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase. Plant Physiol. 129:1265-75.

Bettini, P., S. McNally, M. Sevignac, H. Darmency, J. Gasquez and M. Dron. 1987. Atrazine resistance in *Chenopodium album.* Plant Physiol. 84:1442-1446.

Boerboom, C.M., D.L. Wyse and D.A. Somers. 1990. Mechanism of glyphosate tolerance in birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus*). Weed Sci. 38:463-467.

Bradley, K.W., J. Wu, K.K. Hatzios and E.S. Hagood. 2001. The mechanism of resistance to aryloxyphenoxypropionate and cylohexanedione herbicides in a Johnson grass biotype. Weed Sci. 49:477-484.

Bradshaw, L.D., S.R. Pagette, S.L. Kimball and B.H. Wells. 1997. Perspectives on glyphosate resistance. Weed Technol. 11:189-198.

Burnet, M.W.M., B.R. Loveys, J.A.M. Holtum and S.B. Powles. 1993a. A mechanism of chlorotoluron resistance in *Lolium rigidum.* Planta 190:182-189.

Burnet, M.W.M., B.R. Loveys, J.A.M. Holtum and S.B. Powles. 1993b. Increased detoxification is a mechanism of simazine resistance in *Lolium rigidum*. Pestic. Biochem. Physiol. 46:207-218.

Christophe, D., X.Q. Zhang, C. Chalopin, S. Michel and S.B. Powles. 2003. An isoleucine residue within the carboxyl-transferase domain of multidomain acetyl-coenzyme a

carboxylase is a major determinant of sensitivity to aryloxyphenoxypropionate but not to cyclohexanedione inhibitors. Plant Physiol. 132(3): 1716-1723.

Cocker, K.M., D.S. Northcroft, J.O. Coleman and S.R. Moss. 2001. Resistance to ACCase-inhibiting herbicides and isoproturon in UK populations of *Lolium multiflorum*: mechanisms of resistance and implications for control. Pest Manage. Sci. 57(7):587-97.

Cotterman, J.C. and L.L. Saari. 1992. Rapid metabolic inactivation is the basis for cross resistance to chlorosulfuron in diclofop-methyl resistantrigid ryegrass (*Lolium rigidum*). Pest. Biochem. Physiol. 43:182-192.

Cummins, I., D.J. Cole and R. Edwards. 1999. A role for glutathione transferases functioning as glutathione peroxidases in resistance to multiple herbicides in black-grass. Plant J. 18:285-292.

DeGennaro, F.P. and S.C. Weller. 1984. Differential susceptibility of field bindweed (*Convolvulus arvensis*) biotype to glyphosate. Weed Sci. 32:472-476.

Dekker, J. and S.O. Duke. 1995. Herbicide resistant field crop. Adv. Agron. 54:69-116.

Délye, C., É. Calmès and A. Matéjicek. 2002. SNP markers for black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) genotypes resistant to acetyl CoA-carboxylase inhibiting herbicides. Theor. Appl. Genet. 104: 1114–1120

Délye, C., C. Straub., A. Matéjicek and S. Michel. 2004. Multiple origins for black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds) target-site-based resistance to herbicides inhibiting acetyl-CoA carboxylase. Pest Manage. Sci. 60(1):35-41.

Denis M.-H. and S. Delrot. 1993. Carrier-mediated uptake of glyphosate in broad bean (*Vicia faba*) via a phosphate carrier. Physiol. Plant. 87: 569–575

Devine, M.D., S.O. Duke and C. Fedkte. 1993. Herbicide translocation. Biochemistry and Physiology of Herbicide Action. p.67–94. Prentice Hall, New Jersey.

Diebold, R.S., K.E. McNaughton, E.A. Lee and F.J. Tardif. 2003. Multiple resistance to imazethapyr and atrazine in Powell amranth (*Amaranthus powellii*). Weed Sci. 51:312-318.

Duke, S.O., A.L. Christy, F.D. Hess and Z.S. Holt. 1991. Herbicide-Resistant Crops. Comments from CAST 1991-1, CAST, Ames, IA.

Dumont, M. and F.J. Tardiff. 2002. Resistance to linuron in a Powell amaranth population. Weed Sci. Abstr. 42:49-50.

Eberlein, C.V., M.J. Guttieri, P.H. Berger, J.K. Fellman, C.A. Mallory-Smith, D.C. Thill, R.J. Baerg and W.R. Belkmap. 1999. Physiological consequences of mutation for ALS- inhibitor resistance. Weed Sci. 47:383-392.

Feng, P.C.C., M. Tran, T. Chiu, R.D. Sammons, R.D. Sammons, G.R. Heck and C.A. Cajacob. 2004. Investigations into glyphosate-resistant horseweed (*Conyza Canadensis*): retention, uptake, translocation, and metabolism. Weed

Sci. 52(4): 498-505.

Foes, M.J., L. Liu, G. Vigue, E.W. Stoller, L.M. Wax and P.J. Trane. 1999. Akochia (*Kochia scoparia*) biotype resistant to triazine and ALS-inhibiting herbicides. Weed Sci. 47:20-27.

Fuerst, E.P. and K.C. Vaughn. 1990. Mechanism of Paraquat resistance. Weed Technol. 4:150-156.

Goldsbrough, P.B., E.M. Hatch, B. Huang, W.G. Kosinki, W.E. Dyer, K.M. Hermann and S.C. Weller. 1990. Gene amplification in glyphosate tolerant tobacco cells. Plant Sci. 72:53-62.

Gray, J.A., N.E. Balke and D.E. Stoltenberg. 1996. Increased glutathione conjugation of atrazine confers resistance in a Wisconsin velvetleaf (*Abutilon theophrasti*)biotype. Pestic. Biochem. Physiol. 55:157-171.

Gronwald, J.W., R.N. Anderson and C. Yee. 1989. Atrazine resistance in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*)due to enhanced atrazine detoxification. Pestic. Biochem. Physiol. 34:149.

Gronwald, J.W., C.V. Eberlein, K.J. Betts, R.J. Baerg, N.J. Ehlke and D.L. Wyse. 1992. Mechanism of diclofop resistance in an Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) biotype. Pestic. Biochem. Physiol. 44: 126-139.

Halasz, K., V. Soos, B. Jori, I. Racz, D. Lasztity and Z. Szigeti. 2002. Effect of transporter inhibitors on paraquat resistance of horsweed (*Conyza Canadensis* (L.) Cronq). p.23-24. *In*: Proceedings of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology. Hungary.

Harper, D.B. and B.M. Harvey. 1978. Mechanism of paraquat tolerance in perennial ryegrass. II. Role of superoxide dismutase, catalase and peroxidase. Plant Cell Environ. 1:211-215.

Hart, J.J., J.M. DiTomaso, D.L. Linscott and L.V. Kochian. 1992. Characterization of the transport and cellular compartmentation of paraquat in intact maize seedlings. Pest. Biochem. Physiol. 43:212-222.

Heap, I.M. 2004. International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online Internet. Sep 1, 2004. Available at www.weedscience.com.

Heap, I.M. and R. Knight. 1982. A population of ryegrass tolerant to herbicide diclofop-methyl. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 48:156.

Heck, G.R., S.Y. Chen, T. Chiu, P. Feng, J. Juang, C.S. Hubmeir, Y. Qi and R.D. Sammons. 2002. Ongoing investigations into glyphosate resistant horseweed: resistant mechanisms studies. North Central Weed Sci. Soc. Abstr. 57: Adenum. North Central Weed Sci. Soc., Champaign, IL.

Hilton, H.W. 1957. Herbicide tolerance strains of weeds. Hawaiian Sugar Plant. Assoc. Annu. Rep. p.69.

Hirschberg, L. and L. McIntosh. 1983. Molecular basis of herbicide resistance in *Amaranthus hybridus*. Science 222:1346-1349.

Hirschberg, J., A. Bleeckes, D.J. Kyle, L. McIntosh and C.J. Arntzen. 1984. The molecular basis of triazine resistance in higher plant chloroplasts. Z. Naturforch. 39c:412-419.

Hollander-Czytko, H., I. Sommer and N.

Amrhein. 1992. Glyphosate tolerance of cultured *Corydalis sempervirens* cells is acquired by an increased rate of transcription of 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate synthase as well as by a reduced turnover of the enzyme. Plant Mol. Biol. 20:1029-1036.

Holt, J.S. 1992. History of identification of herbicide resistant weeds. Weed Technol. 6:615-620.

Itoh, K. and M. Miyahara. 1984. Inheritance of paraquat resistance in *Erigeron philadelphicus* L. Weed Res. 29:301-307.

Klevorn, T.B. and D.L. Wyse. 1984. Effect of leaf girdling and rhizome girdling on glyphosate and photoassimilate distribution in quackgrass (*Agropyron repens*). Weed Sci. 32:402-407.

Kuk, Y.I., H.I. Jung, O.D. Kwon, D.O. Lee, N.R. Burgos and J.O. Guh. 2003. Sulfonylurea herbicide-resistant *Monochoria vaginalis* in Korean rice culture. Pest Manag Sci. 59(9): 949-61.

Lamoureux, G.L. and D.G. Rusness. 1989. The role of glutathione and glutathione S- transferases in pesticide metabolism, selectivity, and mode of action in plants and insects. p.153-196. *In*: Glutathione: Chemical, Biochemical and Medical Aspects, Vol. III. Series: Enzymes and Cofactors. D. Dolphin, R. Poulson and O. Avranovic, eds. John Wiley & Sons, New York.

Leach, G.E., M.D. Devine, R.C. Kirkwood and G. Marshall. 1995. Target enzyme-based resistance to acetyl-coenzyme A carboxylase inhibitors in *Eleusine indica*. Pest. Biochem. Physiol. 51: 129-136.

Lehoczki, E., G. Laskay, I. Gaal and Z. Szigeti. 1992. Mode of action of paraquat in leaves of paraquat-resistant *Conyza canadensis* (L.) Cronq. Plant Cell Environ. 15:531-539.

Loos, M.A. 1975. Phenoxyalkanoic acids. In: Herbicides--Chemistry, Degradation, and Mode of Action, Vol. 1, 2d ed. P.C. Kearney and D.D. Kaufman, eds. Marcel Dekker, New York,

Lorraine-Colwill, D.F., C. Preston, S.B. Powles and T.R. Hawkes. 2001. Glyphosate-resistant Lolium rigium-the search for the resistance mechanism. Weed Sci. Soc. Amer. Abstr. 41:95.

McAlister, F.M., J.A.M. Holtum and S.B. Powles. 1995. Dinitroaniline herbicide resistance in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*). Weed Sci.. 43:55-62.

Mengistu, L.W., G.W. Mueller-Warrant, A. Liston and R.E. Barker. 2000. *psbA* mutation (valine (219) to isoleucine)in *Poa annua* resistant to metribuzin and diuron. Pest. Manage. Sci. 56:209-217.

Nafziger, E.M., J.M. Wildholm, H.C. Steinrücken and J.L. Killmer. 1984. Selection and characterization of a carrot cell line tolerance to glyphosate. Plant Physiol. 76: 571-574.

Neighbors, S. and L.S. Privalle. 1990. Metabolism of primisulfuron by barnyard grass. Pest. Biochem. Physiol. 37:145-153.

Nikolskaya, T., O. Zagnitko, G. Tevzadze, R. Haselkorn and P. Gornicki. 1999. Herbicide sensitivity determinant of wheat plastid acetyl-CoA carboxylase is located in a 400 amino-acid fragment of the carboxyltransferase domain.

Proc Natl Acad Sci USA 96: 647–651.

Norman, M.A., E.P. Fuerst, R.J. Smeda and K.C. Vaughn. 1993. Evaluation of paraquat resistance mechanisms in *Conyza.* Pest. Biochem. Physiol. 46:236-249.

Osuna, M.D., A.J. Fischer and R.D. Prado. 2003. Herbicide resistance in Aster squamatus conferred by a less sensitive form of acetolactate synthase. Pest Manage. Sci. 59(11):1210-6.

Patzoldt, W.T., B.S. Dixon and P.J. Tranel. 2003. Triazine resistance in *Amaranthus tuberculatus* (Moq) Sauer that is not site-of action mediated. Pest Manage. Sci. 59(10):1134-1142.

Polos, E., J. Mikulas and Z. Szigeti. 1988. Paraquat and atrazine co-resistance in *Conyza canadensis*. Pest. Biochem. Physiol. 30: 142-154.

Prado, R.D., J. Jorrín and L. García-Torres. 1997. Cytochrome P450 endowed herbicide metabolism. p.101-108. *In*: Weed and crop resistancd to herbicides. Published by Kluwer Academic, Netherlands.

Preston, C., J.A.M. Holtum and S.B. Powles. 1992. On the mechanism of resistance to paraquat in Hordeum leporinum: Delay inhibition of photosynthetic O_2 evolution after paraquat application. Plant Physiol. 100:630-636.

Pyon, J.Y., R.Z. Piao, S.W. Roh, S.Y. Shin and S.S. Kwak. 2004. Differential levels of antioxiants in paraquat-resistant and susceptible *Erigeron canaensis* biotypes in Korea. Weed Biol. Manage. 4:75-80.

Radosevich, S.R., K.E. Steinback and C.J. Arntzen. 1979. Effect of photosystem II inhibitors on thylakoid membranes of two common groundsel (*Senecio vulgaris*) biotypes. Weed Sci. 27:216-218.

Romano, M.L., G.R. Stephenson, A. Tal and J.C. Hall. 1993. The effect of monoxygenase and glutathione S-transferase inhibitors on the metabolism of diclofop methyl and fenoxaprop-ethyl in barley and wheat. Pestic. Biochem. Physiol. 46:181-189.

Ryan, G.F. 1970. Resistance of common groundsel to simazine and atrazine. Weed Sci. 18:614-616.

Saari, L.L., J.C. Cotterman, W.F. Smith and M.M. Primiani. 1992. Sulfonylurea herbicide resistance in common chickweed, perennial ryegrass, and Russian thistle. Pest. Biochem. Physiol. 42:110-118.

Shaaltiel, Y.A. and J. Gresel. 1985. Mechanism of paraquat tolerance in *Conyza bonariensis* and *Lolium perenne*. Phytoparasitica 13:232.

Shaaltiel, Y.A., P. Glazer, F. Biocion and J. Gressel. 1988. Cross tolerance to herbicidal and environmental oxidants of plant biotypes tolerant to paraquat, sulfurdioxide, and ozone. Pest. Biochem. Physiol. 31:13-23.

Shimabukuro, R.H. 1985. Detoxification of herbicides. p 215-240. *In*: Weed Physiology: Herbicide Physiology, Vol. II. SO Duke, ed. CRC Press, Boca Raton, FL, USA,

Sibony, M. and B. Rubin. 2003. Molecular basis for multiple resistance to acetolactate synthase-inhibiting herbicides and atrazine in *Amaranthus blitoides* (prostrate pigweed). Planta

216(6):1022-7.

Smith, C.M., D. Pratt and G.A. Thompson. 1986. Increased 5-enolpyruvylshikimic acid 3-phosphate synthase activity in a glyphosate-tolerant variant strain of tomato cells. Plant Cell Rep. 5:298-301.

Solymosi, P. and E. Lehoczki. 1989. Co-resistance of atrazine-resistant *Chenopodium* and *Amaranthus* biotypes to other photosystem II inhibiting herbicides. Z Naturforsch 44c:119-127.

Stegink, S.J. and K.C. Vaughn. 1988. Norflurazon (SAN-9789) reduced abscisic acid levels in cotton seedlings: A glandless isoline is more sensitive than its glanded counterpart. Pest. Biochem. Physiol. 31:269-275.

Steinrücken, H.C., A. Schulz, N. Amrhein, C.A. Porter and R. Fraley. 1986. Overproduction of 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase in a glyphosate-tolerant *Petunia hybrida* cell line. Arch. Biochem. Biophys. 224: 169-178.

Switzer, C.M. 1957. The existence of 2,4-D resistant strains of wild carrot. Proceed. North Eastern Weed Control Conf. 11: 315-318.

Szigeti, Z. and E. lehoczki. 2003. A review of physiological and biochemical aspects of resistance to atrazine and paraquat in Hungarian weeds. Pest. Manage. Sci. 59(4):451-458.

Tranel, P.J. and T.R. Wright. 2002. Resistance of weeds to ALS- inhibiting herbicides: What have we learned？ Weed Sci. 50:700-712.

Valverde, B.E., C.R. Riches and Z.C. Casely. 2000. Prevention and management of herbicide resistant weeds in rice: Experiences from Central America with *Echinochloa colona*. Weed Sci. 48:695-700.

Vaughn, K.C. 2000. Paraquat resistance in hairy fleabane is due to changes in cation binding sites in the cell wall. Weed Sci. Soc. Am. Abst. 40:63-64.

Volenberg, D. and D. Stoltengerg. 2002. Altered acetyl CoA carboxyloase resistance to clethodim, fluazifop and sethoxydim in *Setaria faberi and Digitaria sanguinalis*. Weed Res. 42: 342-350.

Wrubel, R.P. and Z. Gressel. 1994. Are herbicide mixtures useful for delaying the rapid evaluation of resistance？ A case study. Weed Technol. 8:635-648.

Wyrill, J.B. and O.C. Burnside. 1976. Absorption, translocation and metabolism of 2,4-D and glyphosate in Common Milkweed and Hemp Dogbane. Weed Sci. 24(6):557-566.

Ye. B. and J. Gressel. 2000. Transient, oxidant-induced antioxidant transcript and enzyme levels correlate with greater oxidant-resistance in paraquat-resistant *Conyza bonariensis*. Planta 211:50-61.

Yu, Q., A. Cairns and S.B. Powles. 2004. Paraquat resistance in a population of *Lolium rigidum*. Func. Plant Biol. 31(3):247-254.

Yuan, C.I., C.M. Chiang and Y.M. Chen. 2002. Triple mechanisms of glyphosate-resistance in a naturally occurring glypbosate-resistant plant *Dicliptera chinensis*. Plant Sci. 163:543-554.

Zagnitko, O., J. Jelenska, G. Tevzadze, R.

Haselkorn and P. Gornicki. 2001. An isoleucine/leucine residue in the carboxyltransferase domain of acetyl-CoA carboxylase is critical for interaction with aryloxyphenoxypropionate and cyclohexanedione inhibitors. Proc Natl. Acad. Sci. USA 98: 6617–6622.

雜草學與雜草管理
第十一章　除草劑抗性作物及其利用
166-178

第十一章　除草劑抗性作物及其利用

蔣永正
行政院農委會農業藥物毒物試驗所公害防治組

一、前言

雜草為農業生產體系中之重要害物之一，若未能及時的適當控制及管理，不僅干擾作物的生育，也明顯影響農民的收益。早期雜草防除以翻犁整地的耕作方式為主，自 1940 年代除草劑問世後，很快地即成為主流之除草技術，由於迅速而普遍的大量使用，所形成之藥劑篩選壓力，造成田區內出現對特定除草劑具抗性之雜草植株。雜草抗藥性從 1968 年首次報導後，目前至少有 150 種以上雜草對一種或多種除草劑產生抗性(HRAC 2002)，抗性雜草的存在對於除草效果佳，且被市場廣泛接受之除草劑而言，不僅加深雜草的危害程度，同時對倚賴此類藥劑達成雜草管理之體系也帶來莫大的衝擊。在除草劑抗性機制被逐步了解及分子生物技術蓬勃發展下，農藥公司及種子公司開始積極進行除草劑抗性基因轉殖，產生抗性作物之研發工作，除寄望解決部分抗性雜草之管理問題外，商機的拓展也是不惜成本投入大量資金的主因。本文主要討論抗性作物的利用，在雜草管理上所造成之效益及風險，以及抗性作物使用前應考量之因素，與使用後之管理與監測。同時說明抗性雜草、除草劑與抗性作物間交互作用之關係，進一步瞭解精準使用農藥，在雜草管理策略上之重要性。

二、除草劑抗性與抗性作物之產生

植物對除草劑的反應可分為敏感、耐性及抗性三種。感性植株通常對除草劑缺乏忍受力而易引起藥害；耐性植株則為可忍耐較高劑量，且在除草劑使用前即已存在自然界中的植物物種(species)或較大的分類群。感性及耐性程度的比值則可用為估算除草劑的選擇性(selectivity)。抗性則涵蓋了篩選和演化的機制在內，是針對一個長期重複曝露於同一除草劑，或作用機制相似之同類型藥劑的雜草族群，相對於同種之其他植株，對藥劑具有較顯著的忍受性而言。通常容忍性與抗性會被交替使用，但後者更強調了藥劑篩選壓力下族群的動態變化趨勢。

雜草對除草劑抗性的發展史較之病蟲原對殺菌劑與殺蟲劑為短，因為植物生活史較長，田區大部份雜草植株在除草劑的篩選壓力尚不完全時，即因為作物的收割而被翻犁除去，此外土壤中存留的野生型雜草種子量很多，植株的適應性強，以及抗性雜草植株生長勢較差等也是部分原因。但是隨著除草劑用量的增加及作用

機制的單純化，抗性雜草的出現亦與日劇增，1989 年的發生速率即與病蟲者相當。大部分的抗性生物型，多出現在以除草劑為雜草防除主要工具之已開發國家，1983 年以前 triazine 類抗性雜草最多，佔 67%；其次為 synthetic auxins 及 bipyridyliums，分別為 12 及 13%(Fuerst and Vaughn 1990, Holt and LeBaron 1990, Heap 1997)。1984 年後 sulfonylureas 佔 28%；ACCase 抑制劑佔 11%；triazines 及 bipyridyliums 均為 15% (Primiani *et al*. 1990, Heap 1997)。臺灣地區目前也証實旱田常見雜草野茼蒿(*Erigeron sumatrensis*) 對巴拉刈(蔣等 1994)，牛筋草(*Eleusine indica*)對 ACCase 抑制劑(未發表資料)，均已產生明顯抗藥性。抗性雜草的發生通常是在田間的同一族群內，出現一種或多種抗性的等位基因，且此突變會遺傳到後代。一般單一顯性核內基因之表現型頻率為 10^{-5}，隱性者為 10^{-11}，而在葉綠體內者更低；一旦雜草族群曝露於除草劑下，某些抗性生物型會出現，敏感性植株被殺死後，留下抗性的植株歷經一段時間後，當抗性生物型成為田面族群和土壤種子庫內的優勢種後，即田間抗性株達 30%以上時，即可偵測得到抗性的發生。一般 triazine 類經七年以上的重複使用會出現抗性生物型，而 sulfonylureas 只需 3-5 年(Scalla 1992, Shaner 1995)。

抗性作物的產生方法包括傳統育種與生物技術，1984 年在加拿大上市之抗 triazines 油菜(canola)栽培種，即為傳統育種所育成之抗性作物，但目前市面上流通之商業品種，仍以基因工程技術所產生的轉殖作物為主。轉基因作物中有 85%為除草劑抗性作物，包括抗嘉磷塞(glyphosate)及固殺草(glufosinate)之大豆、玉米，抗嘉磷塞之棉花，及抗固殺草之油菜等(James 2001)。基因轉殖作物雖然引起社會各方兩極化的反應，但栽培面積卻持續在擴大中，類似嘉磷塞和固殺草等安全速效之除草劑，其抗性作物即頗為農民所接受。傳統育種之抗性性狀選拔及種間雜交，與現代生物技術之基因轉殖，運用在抗性作物的產生與發展上都有具體成效，且目前也有相當成功之商品化產品(表 1)。有關抗性作物的產生方法分述如下(Dyer 1996, Hall *et al*. 1996)。

(一)性狀選拔

即直接從已存在之植物基因組中，根據抗性性狀選拔出理想之抗性作物。一般不同種類之作物，甚至在栽培品種間，對除草劑抗性表現的差異，往往有極大的變化範圍。抗性個體或族群選出後，再使用適合的評估標準定期的重複選拔，以提升抗性程度及基因型的穩定性。在植株及細胞培養兩種層次均可分別進行選拔；前者包括種子及花粉突變體之利用，以集團選拔方式選出抗性品系之種子，經由抗性檢定及回交程序得到商品化品系。花粉則由突變之單倍體，受精後再行個體篩選。細胞培養為癒傷組織或細胞懸浮液因為發生所謂的變異(somaclonal variation)情形，改變了染色體的構造或數目，造成基因重組或倍數性(ploidy level)變異。某些除草劑抗性的顯現主要和目標酵素之編碼基因放大(amplification)有關，利用細胞培養過程中發生與抗性相關的性狀，選出抗性品系，再經回交得到與原有栽培品種相近之品系。

(三)基因轉殖

目前大多數之抗性作物是經由基因轉殖產生的；即利用 DNA hybridization 及 PCR 等技術，將負責降低除草劑生物活性，及產生抗性酵素之控制基因轉入作物體內。在除草劑抗性轉殖計畫中，需先建立有效之轉殖株篩選方法，如利用抗性篩選基因(對抗生素具抗性之 *nptII*、*hpt* 基因，或對除草劑 PPT 具抗性之 *bar* 基因等)在化學藥劑中之表現，以選拔及維繫轉殖成功之材料。但用於不同材料及轉殖方法之化學藥劑濃度及處理時間仍需測試，以免影響植株之再生效率。許多抗除草劑作物都已有商品化產品，與轉殖方法、細胞培養及植株再生技術的快速進展有密切關係。

三、抗性作物之利用效益

除草劑抗性作物最直接有利之處，即為提供農民具彈性便利之雜草管理策略，增加藥劑使用時的選擇空間。

(一)雜草管理

非選擇性廣效型除草劑，用於防除大面積呈複合式草相之作物田雜草十分有效，類似嘉磷塞之系統性藥劑，對較難防除之多年生雜草也有不錯的控制效果。因此，在抗嘉磷塞之大豆田區，於作物生育期間噴施嘉磷塞，不僅不會發生藥害問題，同時因為嘉磷塞易被土壤粒子吸附，也沒有造成後作殘效之顧慮。單純以除草劑防除雜草時，需要掌握適當之用藥時機，否則不僅藥效降低且易引起藥害，但利用除草劑抗性作物較無此限制。尤其是氣候不佳需延後施藥時間，對防除效果的影響最為明顯。對於選擇性除草劑而言，田區內發生與作物親緣相近之雜草植株時，往往成為防除上的盲點，若能栽培抗性作物，可以完全以除草效果為考量，選擇藥效較佳之藥劑使用。

對於發生抗性雜草之農田，若選擇栽培除草劑抗性作物，在雜草防除上也有特殊效益，面對抗性水稻田內發生之禾本科抗性雜草 *Echinochloa* spp.，可從藥效之觀點選擇對環境影響最小之替代藥劑(Mallory-Smith 1999, Olofdotter *et al*. 2000)。抗性雜草發生時，可以配合抗性作物對除草劑之反應，輪換使用不同藥劑，以獲得抗性雜草較佳之管理方式(例如在抗嘉磷塞之蔬菜田，使用嘉磷塞防除對 ACCase 抑制型除草劑具抗性之雜草)。在寄生性雜草發生較多之田區，若選擇栽培抗除草劑作物，則可供使用之藥劑種類增多，雜草防除效果會明顯提高(Madsen 1999)。相較於傳統雜草管理系統，針對問題雜草使用混合藥劑或增加施藥次數，通常不僅控制成效有限，同時也有用藥量提高之負面影響。

目前針對次要作物田之雜草防除確有實際的困難，一般缺乏適當之登記藥劑可供選擇，因此需投資額外的人力與金錢，才得以提升雜草防除的效果。由於次要作物之栽植面積小且分散，在利潤不高之前提下，期望廠商發展抗性作物之可能性不高。

(二)環境保護

具有非選擇性廣效型除草劑之抗性作物田，通常使用一種藥劑即可達到防除雜草的目的，在經濟及環境上均可獲

得明顯的效益。單純使用嘉磷塞即可得到理想殺草效果之田區，施藥次數的降低符合環保原則，同時配合減少翻耕或不耕犁之最小耕作法的發展，不僅雜草防除更趨簡易有效，尚可減少土壤的侵蝕沖刷(Hurle 1999)。

傳統除草劑之選擇性表現通常不完全，對某些作物之生育多少會造成影響而降低產量，因此農民往往將使用於萌後之除草劑，提前至萌前使用避免藥害的發生。唯此舉不只效果降低，且不符合關鍵期(period threshold)防除之經濟原則。但在除草劑抗性作物之田區，則因為藥劑對作物與雜草間之選擇性差異變大，因而較能精準掌握施藥期達到防除效果。傳統利用化學藥劑防除之適當施藥時間，均由作物及雜草的生育期決定，而非以雜草干擾危害作物生育之臨界期為唯一考量，利用除草劑抗性作物時，可根據雜草危害作物生育之決定期，訂定施用藥劑之時間，不僅在時間應用上有彈性，且符合經濟效益之防除原則。提高雜草防除之精準性，為未來雜草管理策略發展的新方向，參酌經由小區採樣調查之結果，及田區感應系統監測所得之資料，並根據雜草在空間及時間上的變化進行防除措施，將能提升除草劑抗性作物的應用價值。

四、抗性作物利用之風險

對除草劑抗性作物利用之風險，是根據人類健康、環境安全及農民收益三者，評估其立即性及長期性的不利效應。同時此效應受作物、抗性特質、草相、氣候及農田管理等因素的影響，而有不同之嚴重程度，實際上無法提出通案性的結論，僅能針對個案分析(Madsen and Streibig 2002)。

(一)增加篩選壓力(selection pressure)

田區雜草管理過程中，不宜長期過度倚賴一兩類的除草劑。除草劑抗性雜草之發生主要與單期作耕作制度下，連續重複使用單一種(類)之除草劑有關。除草劑抗性作物具有擴大單期作與單一除草劑使用系統之潛力，如栽培抗嘉磷塞之作物品種，農民在沒有藥害的顧慮下，且為達到更佳之除草效果，很容易破壞農藥保守使用的準則(Swanton *et al.* 2000)。每年以高劑量嘉磷塞連續施用 2-3 次，對田區雜草形成極大之篩選壓力，5-8 年後田面草相組成即會發生顯著的改變，且草種趨於單純化，需要輪換其他萌後藥劑，以防除具耐性之優勢雜草(Shaner 2000)。在單期作栽培系統下，種植固殺草抗性水稻 3-8 年後，田區即發生具抗性之野生水稻，雜交率由 1%提高至 5%，抗性植株出現之時間也縮短了 1-3 年(Katheine *et al.* 2002)。除草劑的使用及田間管理措施會影響田面草相之變遷，闊葉除草劑的施用會增加禾本科草間之競爭，一般在最小耕作方式之田區內，多年生草及禾本科草有增加之趨勢，即使施用非選擇性除草劑也無法完全控制所有雜草。

在抗性作物輪作時，殘留之抗性作物種子，萌發後即為自生之抗性作物植株，亦將成為後作之問題雜草。另外，如玉米及大豆之輪作田，抗嘉磷塞之大豆及玉米在生育期間，因為不只一次施用嘉磷塞，同樣是增加田區內除草劑之

篩選壓力(Shaner 2000, Roush 2001)。

(二)基因流動(gene flow)

抗性基因從一種作物轉移至另一種作物或其近緣種植物，成為田間雜草族群發展抗性的另一條路徑。一旦在多種親緣雜草上出現抗性基因時，雜草控制的成效即會明顯降低，反而促使農民會持續大量使用同一除草劑，導致田區內發生對此特定除草劑具抗性之雜草生物型植株，快速的建立其龐大族群，造成雜草管理及農業環境之負面影響。在加拿大發生之實際案例，即數種具不同除草劑抗性之油料作物 oilseed rape，種植數年後，鄰近地區出現具多重抗性之新品系(Hall *et al.* 2000)。

基因流動為環境中除草劑抗性轉移之重要角色，基因可經由花粉或種子而移動，異花授粉、種間雜交及包含此性狀之種子散布，均會造成抗性基因的傳播。通常花粉的傳播範圍大於種子，能傳播於同種作物的不同品種，或與作物親緣相近的野生植物。基因流動會經由休眠種子而長期傳播，停止種植抗性油菜數年之田區，仍可發現其在田面形成之自生群落(Lutman 1999b)。

影響抗性基因傳播之因子為(1)種間親合性及雜交種適合度：花期相近之抗性作物與感性作物或雜草植株，當花粉內帶有抗性性狀之花粉粒落在柱頭上時，要能成功的發生授粉及受精行為，待抗性基因導入受精卵之染色體組後，還必需能夠產生具稔性之雜交種子，同時雜交種子能與作物或雜草親本回交，而產生適合在環境中生育之抗性新品系。因為每一子代產生之植株，都可能攜帶除草劑抗性基因，在雜草管理上難免造成新的問題。抗、感兩種作物在花期相近且具雜交和合性時，則異花授粉成功之機率會很高，極有可能造成基因之流動(表 2)。發生在作物與雜草間之雜交種種子，也並非全具稔性，Hauser *et al.* (1998)研究顯示在 oilseed rape 與 *B. rapa* 之雜交第二代，其種子產量有減少之趨勢。但某些具有雜種優勢之稔性雜交種子，在農業生態系中則具有轉變為雜草的潛力。(2)授粉方式：作物基因可作長距離的傳播到野生植物，風力使花粉傳至數公里，昆蟲至少可達一公里，轉基因作物中有 50%以上為異花授粉，如油菜、瓜類及果樹等，水稻、大麥及小麥則是風力傳播之自花授粉，對異花授粉之轉基因抗性作物，其抗性基因的流動應特別注意(Madsen and Streibig 2003)。(3)種子傳播方式：抗性種子可經由動物、飛鳥及人類活動帶至數公里以外，一般以機械傳播種子的距離較長，其次為人為的傳播(Madsen and Streibig 2003)。

種內或種間基因流動程度，有時間及空間上的評估方式，過去研究大都集中在作物種內及作物與雜草種間之雜交，也有試驗集中在基因流動之距離，或持續數個世代後雜交種之存活率及種子產生的能力。基因的表現隨遺傳背景而異，很難預測一個抗性基因在導入一個染色體組後的影響程度，因此除草劑抗性作物在利用時，栽培地區之選擇要很慎重，應先進行生態及植物學之調查，評估種間雜交之風險，避免鄰近可能有近緣雜草植株造成之風險。

(三)田間抗性基因之表現

田區內若抗性基因之表現程度不

表 2. 作物及其近緣野生種植物(摘自 Mallory-Smith 1999, Riches and Valverde 2002)。

作物	近緣野生種植物
Barley (*Hordeum vulgare*)	Wild barleys (*H.* spp.)
Canola (*Basssica napus*)	Numerous wild mustards
Carrot (*Daucus carota*)	Wild carrot (*D. carota*)
Cotton (*Gossypium hirsutum*)	*G. aridum; G. armourianum;* *G. harknesii; G. klotzchianum;* *G. raimondii; G. thurberi;* *G. gossypioides; G. trilobum;* *G. lobatum; G. barbadense;* *G. hirsutum*
Foxtail millet (*Setaria italica*)	Green foxtail (*S. viridis*)
Lettuce (*Lactuca sativa*)	Prickly lettuce (*L. serriola*)
Maize (*Zea mays*)	Teosinte (*Z. mays* spp. *mexicana*) Tripsium dactyloides
Oat (*Avena sativa*)	Wild oat (*A. fatua*)
Potato (*Solanum tuberosum*)	154 wild species
Radish (*Raphanus sativus*)	Wild radish (*R. sativus*)
Rice (*Oryza sativa*)	Red rice (*O. sativa*) *O. alta; O. glumaepatula;* *O. grandiglumis; O. latifolia*
Sorghum (*Sorghum bicolor*)	Johnsongrass (*S. hulepense*)
Squash/pumpkin (*Curcbita* spp.)	Wild cucubit species (*C.* spp.)
Sugarbeet (*Beta vulgaris* spp. *vulgaris*)	Wild beet (*B. vulgaris* spp. *maritime*)
Sunflower(*Helianthus annuus*)	Wild sunflower (*H. annuus*)
Wheat (*Trielcum aestivum*)	Jointed goatgrass (*Aegilops cylindrical*)

足，栽培抗性作物之農民將承擔因除草劑使用錯誤所導致之經濟損失，因此基因在多變的環境與生產體系中，必需具有穩定表現之特性。種間雜交、基因交換及抗性作物自生植株均會影響田間抗性基因之表現。

1.種間雜交

一地區內親緣野生植物的開花期大都彼此重疊，研究從數個不同地點之開花數目，結果顯示栽培種間之雜交率最低。以 oilseed rape 為例，其異花授粉率約 20-40%，分別由風及昆蟲達到異交(outcrossing)結果，並產生大量花粉(Darmency 1999)。植物間開花期不連續，表示兩者花粉雜交之可能性低。另外，在特定地點由花粉粒飛散的分布曲線，也可以大致預測轉殖基因花粉，與

鄰近雜草授粉之數量及頻度；對花粉較少之某些栽培種而言，相對的其雜交授粉率低。一旦花粉到達外來雜草植株之雌蕊上時，是否能發芽則由自交不和合性來決定，發芽之花粉尚需經歷胚珠受精之過程。在雜草族群內不同植體間，也發現有某種程度之遺傳變異，同一種內的某些植物不能產生雜交種(不稔)，某些則可以；利用特定之標識研究，能夠得到特定地區雜草族群之雜交率，授粉與受精能力，從品種間差異的分析資料，即能選拔出種間雜交風險低之安全品種。

生長在抗除草劑油菜田內之雜草植株，在重複噴施同一種除草劑後，其子代與 hoary mustard (*Hirschfeldia incana*) 及 wild radish (*Raphanus raphanistrum*) 雜交之抗性後代可以存活，但與 wild mustard (*Sinapis arvensis*)雜交之後代則否(Darmency 1999, Reiger *et al*. 2001)。雜交種植株之發生數與雜草植株產生之種子數無直接相關，在商品化抗除草劑作物栽培之田區，監測雜交種產生之數量時，應以植物之株數為準而非種子數。一旦雜交種子散落後，埋在土中之存活期會和作物種子一樣長，觀察不同地區之小麥田，深耕會減少存活之種子數、幼苗萌發數量及種子存活率。根據觀察，雜交種之外形與栽培種十分相近，同時也具有野生親本之外觀，因此雜交種在田區內不易被確認出來。雜交種種子的產出不高(平均每株 0.2 粒種子)，但存活力與雜草相當，此種雜交適合度(fitness)可用為壓抑抗性雜交種在雜草管理上造成之問題 (Darmency 1999)。

2.漸滲雜交(introgressive hybridization)

田區採行作物輪作時，鄰近出現及保留之雜草族群，會提供雜交種及其子代與雜草回交之機率。油菜為異交作物，會透過風力或昆蟲與近緣種雜草進行雜交，其複倍體(amphiploid)(2n=38)為來自 *B. oleracea* (2n=18) 及 *B. campestris* (2n=20)之雜交後代。以 1:1 之油菜(*B. napus*)與 *B. campestris* (目前已成為農田的主要雜草)混種時，後者會產生 13%之雜交種子，前者為 9%，顯示抗性基因經由雜交及回交而發生物種間基因庫的融合。含抗性基因之油菜與 wild radish 雜交，F_1 僅產生 28.6%之稔性種子，第二代增多 10 倍，經過 4 個世代會產生與雜草染色體數及外觀形態相似之抗性植株，顯示抗性基因主要滲入雜草之染色體組(Darmency 1999)。

轉殖油菜之基因若位於 *B. oleracea* 之染色體上，則發生在 *B. campestris* 內之基因重組與交換較在 *B. oleracea* 內困難，因為 *B. campestris* 在北歐地區十分普遍，因而由此方法獲得之轉基因油菜可以在此區域內維繫下來。反之，*B. oleracea* 之原生地為地中海及中國，存在 *B. campestris* 染色體上之轉基因油菜則為適合栽培之品種。類似的結果在甜菜、高粱、小米、胡蘿蔔、小麥及水稻上亦然(Darmency 1999)。

漸滲雜交對農民的主要影響，係田區內發生之抗性雜草無法控制，使除草劑效果降低。試驗顯示田區內由單一抗性植株產生之幼株數，在沒有防治情形下，第四代會高達 100,000 株(Darmency 1999)。經由漸滲雜交發生之抗性雜草確為一新的景象，因為轉殖之抗性基因，

在生物體內的穩定性，發生突變的機率，與其他代謝途徑交互作用之潛力，以及代謝產物釋放至環境中之變化均無法明確掌握，因此有可能造成長期影響的效應。

(四) 自生之除草劑抗性作物

除草劑抗性作物的風險之一，即成為後作之自生雜草，如抗嘉磷塞作物在休閒及非耕作栽培系統田區內，會成為防治上的一大難題。因為嘉磷塞為此類田區常態而規律使用的除草劑，抗性玉米在具有相同抗性之大豆為其後作時，亦會造成防除上的困難。因此，與除草劑抗性自生作物族群建立有關之適合度研究，將成為重要之課題。根據 oilseed rape 植株收穫後留存在土表之種子，分項提出與適合度相關之調查如下：

(1) 有多少種子在收穫後會散落在田區？約為所有種子產量之 5%，即每平方公尺至少有 5,000 粒(Lutman 1999a)，顯示抗性作物與傳統作物有類似之生育行為。

(2) 此種雜草如何散布？留存在田區之種子會在土中存留數年，且侵害其他作物，自生之 rape 會散布得很廣，在半開發棲地如路邊及田埂上會像雜草一樣發生。

(3) 油菜種子為何會存留在土中？新鮮之油菜種子幾乎都是不休眠的，但有記錄顯示，油菜種子會在土中存留數年，可能因為採收後種子會立即轉變為休眠狀態。研究顯示一般栽培種具有成為休眠性遺傳組合之潛力。黑暗及水分逆境(乾旱)為導致休眠之主因，低土溫及低氧含量應該也是部分原因。

(4) 存留在土壤中之 rape 種子時間會有多長？試驗數據並不一致，有一說為 10 年，在指數曲線下降 50%時需 9 個月，90%時需 3 年，100%時(種子全部消失)需 9 年以上(Lutman 1999a)。由此顯示，低比例之種子仍能存活一極長之時間，此與傳統作物極為類似。

(5) 種子散布之風險是什麼？Oilseed rape 為路邊常見植物，很明顯是由農機具及運輸工具掉落之種子所引起，調查顯示，大部分的種子無法在次年重新建立族群，因為 oilseed rape 在非耕地之繁殖及萌芽力不佳。反而是由收穫機殘留之種子愈多，在田面散布的風險則愈大，或會經由機具帶至其他田區。

由此可知，對於自生之抗性植物所造成雜草管理之衝擊，需針對植物種類、田區管理及氣候環境等因子，預先評估及分析，作為抗性作物利用之參考。

五、抗性作物之管理

抗性作物對管理抗性雜草上有其利用之潛力，但同時也帶來許多應用上的問題，因此從栽培田區之選擇到除草劑的使用，均應建立完備之管理及監測系統。

(一)技術性解決基因之流動

有許多技術可減少基因在田區移動之機會，包括雄不孕、阻斷異交(outcrossing)、殖入致死基因至抗性作物之植株。

(二)生產操作

利用新的除草劑抗性作物前，應先制定一套針對此作物之除草劑使用，及防止抗性雜草產生之特定管理策略，包含此除草劑抗性作物之產生方式，及除草劑使用之次數及種類。有關交互抗性及多重抗性之問題，對使用之藥劑種類應特別注意。若不只抗一種藥劑之抗性作物，需注意其是否會成為自生雜草，記錄抗性草種植及除草劑的施用情形。利用具抗性及不具抗性之作物輪作，為防止抗性雜草產生之主要方式。為減少種子散播所造成之基因流動，需注意運輸及機械清潔。在清除田區內任何除草劑抗性作物之自生作物或雜草方面，以控制花粉的移動不易，在許多狀況下，田區間尚需設置適當之隔離距離。土壤種子庫的管理也很重要，如芥菜(mustard)種子存在土壤中可持續數年，油菜之自生作物也能持續一段期間，小麥種子則不可能超過一年(Mallory-Smith 1999)。

(三) 除草劑抗性作物自生植株之預防及管理

以 oilseed rape 為例：(1)預防：要完全避免種子掉落土表幾乎是不可能的，但隨時採收以減少種子落地，亦不失為降低土壤種子庫內抗性種子數量之良方。(2)殘株之管理：埋在土表下之小殘株，在較乾旱之田區也會增加其存活機率，應使用除草劑防止其再生而非用耕犁的方式，如為具抗性之自生作物，應選擇輪換或混合藥劑。(3)植前及後作：後作應選擇不翻耕方式以避免促進油菜種子之發芽，選擇穀類(cereals)作物當作後作，有較多可用藥劑來防除自生之抗性油菜，且使用除草劑還必需配合作物，與抗性油菜萌芽期之長短。耕犁則會增加自生油菜在後期作之數量。(4)運輸及機具攜帶：防止運輸時除草劑抗性作物種子之掉落及農機具之攜帶傳播，會明顯減少其散布與蔓延(Mallory-Smith 1999)。

六、結語

除草劑抗性的發生在農藥應用上已成為重要的討論議題，一方面因為近年來抗性植株的出現趨於普遍而快速，往往新藥的推出(如 sulfonylureas)不到十年即產生抗性，根據 HRAC (2002)的記錄，全球抗性雜草生物型已有 250 種以上，且發生的速率持續在提升。另方面則為抗性作物的研發與產生，除草劑抗性作物的使用，在短期內對嚴重之雜草問題似乎提供了新的解決辦法，如寄生性雜草及作物近緣種雜草的防除，甚至可朝向不翻犁之最少耕作方式發展，以減少土壤流失等問題。但在長期影響上，則有基因流動及種間雜交，造成抗性草發生之疑慮，以及抗性自生植物成為後作田雜草的問題。其他方面尚包含因為新技術導致田間栽培管理方式的改變，造成傳統農機具的淘汰所引起之損失，以及農民依賴特定藥劑的風險。此外，固有的作物品種亦將逐漸消失，取而代之的是限制農民採收抗性種子，改以壟斷方式之供應模式等。

除草劑抗性作物的栽培面積持續在擴大中，抗性作物的利用可以成為整體雜草管理中的一部分，但絕非解決雜草防除問題的唯一方法。通常抗性作物引

入農業生產體系中，一旦被栽培者廣泛接受及普遍採用後，研發者會不斷發展更多之抗性作物來抗更多之除草劑。因此，在一個新的除草劑抗性作物被利用之前，為降低風險提高利用效益，應先發展適當及適時的管理與監控策略，策略之製作與作物種類、抗性除草劑特性、特定地區之作物輪作情形，及雜草相之發生均有密切關係，但一個管理策略通常不會適用於所有的藥劑或作物 (Romero 1999)，針對個別案例做適切之修正是十分必要的。

八、參考文獻

蔣永正、蔣慕琰、朱德民。1994。台灣野塘蒿(*Erigeron sumatrensis*) 對巴拉刈 (paraquat) 抗藥性之研究。中華民國雜草學會會刊 15(1): 1-19。

Darmency, H. 1999. Potential of gene transfer to wild relative species. p.9-11. *In*: Technical Meeting on Benefits and Risks of Transgenic Herbicide Resistant Crops. FAO, Rome, Italy.

Dyer, W. E. 1996. Chapter 3: Techniques for Producing Herbicide-resistant Crops. p.38-47. *In*: Herbicide-resistant Crops. S. O. Duke, ed. CRC Press, New York.

Fuerst, E. P. and K. C. Vaughn. 1990. Mechanisms of paraquat resistance. Weed Technol. 4:150-156.

Hall, J.C., M.J. Donnelly and D.J. Hume.1996. Triazine-resistant Crops: The Agronomic Impact and Physiological Consequences of Chloroplast Mutation. p.107-126. *In*: Herbicide-resistant Crops. Agricultural, Environmental, Economic, Regulatory and Technical Aspects. S.O. Duke, ed. USA, CRC Press, New York.

Hall, L., K. Topinak, J. Huffman and L. Davis. 2000. Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multiple-resistant *B. napus* volunteers. Weed Sci. 48: 688-694.

Hauser, T.P., R.B. Jorgensen and H. Ostergard. 1998. Fitness of backcross and F_2 hybrids between weedy *Brassica rapa* and oilseed rape (*B. napus*). Heredity 81: 436-443.

Heap, I. M. 1997. The occurrence of herbicide-resistant weeds worldwide. Pestic. Sci. 51: 235-243.

Holt, J.S. and H.M. LeBaron. 1990. Significance and distribution of herbicide resistance. Weed Technol. 4:141-149.

HRAC. 2002. International survey of herbicide resistant Weeds. http://www.weedscience.org/summary/CountrySummary.asp

Hurle, K. 1999. Benefits and risks posed by the use of HRCs. p.6-7. *In*:Technical Meeting on Benefits and Risks of Transgenic Herbicide Resistant Crops. FAO, Rome, Italy.

James, C. 2001. Global GM Crop Area continues to grow and exceeds 50 million hectares for first time in 2001. Intl. Service for the Acquisition of Agri-biotech. Application. http://www.isaaa.org/presspercent 20release/Global percent 20 Area.Jan2002.htm.

Katheine, H.M., E.V. Bernal and E.J. Jens. 2002. Risk assessment of herbicide-resistant crop: A Latin American perspective using rice (*Oryza sativa*) as a model. Weed Technol. 16(1): 215-223.

Lutman, P.J.W. 1999a. Prevention and management of volunteer HRCs. p.13-15. *In*: Technical Meeting on Benefits and Risks of Transgenic Herbicide Resistant Crops. FAO, Rome, Italy.

Lutman P.J.W. 1999b. Volunteer HRCs in other crops. p.17-19. *In*: Technical Meeting on Benefits and Risks of Transgenic Herbicide Resistant Crops. FAO, Rome, Italy.

Madsen, K.H. 1999. Socio-economic consequences of HRCs. p.8. *In*: Technical Meeting on Benefits and Risks of Transgenic Herbicide Resistant Crops. FAO, Rome, Italy.

Madsen, K.H. and J.C. Streibig. 2002. Risk assessment of herbicide resistant crops: A Latin American perspective using rice (*Oryza sativa*) as a model. Weed Technol. 16(1): 215-223.

Madsen, K.H. and J.C. Streibig. 2003. Benefits and Risks of the Use of Herbicide-resistant Crops. *In*: Weed Management for Developing Countries. R. Labrada, ed. FAO Plant Production and Protection. Paper 120 Add. 1. Rome. 11 pp.

Mallory-Smith, C. 1999. Benefits and Risk of HRCs. p.21-26. *In*:Technical Meeting on Benefits and Risks of Transgenic Herbicide Resistant Crops. FAO, Rome, Italy.

Olofdotter, M., B.E. Valverde and K.H. Madsen. 2000. Herbicide resistant rice (*Oryza sativa* L.) in a global perspective: Implications for weed management. Ann. Appl. Biol. 137:279-295.

Primiani, M.M., J.C. Cotterman and L.L. Saari. 1990. Resistance of Kochia (*Kochia scoparia*) to sulfonylurea and imidazolinone herbicides. Weed Technol. 4:169-172.

Riches, C.R. and B.E. Valverde. 2002. Agricultural and biological diversity in Latin America: implications for development, testing, and commercialization of herbicide-resistant crops. Weed Technol. 16:200-214.

Reiger, M.A., T. Potter, C. Preston and S.B. Powles. 2001. Hybridization between *Brassica napus* L. and *Raphanus raphanistrum* L. under agronomic field conditions. Theor. Appl. Genet. 103:555-560.

Romero, R.L. 1999. Results of a Questionnaire on HRCs. p.27-30. *In*: Technical Meeting on Benefits and Risks of Transgenic Herbicide Resistant Crops. FAO, Rome, Italy.

Roush, R.T. 2001. Genetic modified herbicide resistant crops in North America, Australia and other countries. p.5-9. *In*: Japan-Australia Seminar, Utsunomiya University.

Scalla, R. 1992. Biochemical mechanisms of herbicide resistance and selectivity. p.231-235. *In*: Proc. 1st International Weed Control Cong., Melbourne.

Shaner, D.L. 1995. Studies on mechanisms and genetics of resistance: their contribution to herbicide resistance management. p.537-545. *In*: Proc. Brighton Crop Protection Conf. UK.

Shaner, D. L. 2000. The impact of glyphosate-tolerant crops on the use of other herbicides and on resistance management. Pest Manag. Sci. 56:320-326.

Swanton, C. J., A. Shrestha, K. Chandler

and W. Deen. 2000. An economic assessment of weed control strategies in no-till glyphosate-resistant soybean (*Glycine max*). Weed Technol. 14:755-763.

第十二章　水生雜草之管理

蔣永正
行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所公害防治組

一、前言

水資源的開發在全球人口快速成長、經濟急速發展下日趨蓬勃，為達到充分利用及儲備水源的目的，各類輸水、集水之渠道及水庫等設施應運而生，不僅造就了大小深淺不同之動態及靜態水生環境，同時也增加了人類活動對水系生態的影響程度。幾乎所有天然與人工水體中，都會發現水生植物的存在，生長在水邊、水面、水底、溪流、渠道或湛水田內，全球不同地區之分布多達數千種以上，種類及數量均有豐富的變化。水生植物本為水生生態系的成員之一，扮演平衡及穩定生態系的重要角色，只是因為水質等環境的改變或外來入侵種的介入，引起特定植物的大量繁殖及蔓延，干擾其他水生生物的存活，甚至造成人類健康及居住的威脅，此種水生植物即被視為需要防除之水生雜草。水生雜草的危害隨著水資源的開發與利用有日益嚴重之趨勢，尤其是熱帶與亞熱帶國家，因為水溫高、水壩及灌溉設施的增加，助長水生雜草的生長、繁殖及散布。臺灣地區內陸河川因為大都短而湍急，用於航運的價值不高，大部分水源用於農業灌溉，少部分為工業及民生用水。因此，水生雜草的危害主要是堵塞水閘及溝渠，雨季期間甚至造成河水氾濫，危及鄰近居民生命及財產的安全。由於水域面積廣闊，水上活動不易操控，一旦意識到水生雜草普遍滋生引起危害時，往往需要投入大量的人力及經費，卻未必能達到理想的控制效果。

早期水生雜草防治計畫集中在防除方面，有關布袋蓮(*Eichhornia crassipes*)的研究報告，其中防除就占了 50%，危害性 25%，生理和利用性各占 11%，其他 3%(蔣及呂 1984)；實際上因為不易達成完全消除的目的，同時防除的效益過低，水生雜草對經濟的衝擊很難估計。研究顯示維持適當的水生植物群落，不但有助於物種多樣性之發展及水生生態系的穩定，同時還具有淨化水質的潛力(Oki 1992)。因此建立適時適度之水生植物管理系統，為維繫水體生命所迫切需要的。

二、水生雜草之生長及分布

水生雜草指在水中或含飽和水之土壤中，完成全部或部分生育期之植物。廣義的水生雜草包括生長在水邊的濕地雜草，狹義的水生雜草為終生都生活在有水的環境中，且必需在水中完成生活史者。

(一)水生雜草的分類

依據生長之環境及外觀形態特徵(洪及呂 1980, 彭 1996, Holm *et al.* 1970, Ridout 1980)，水生雜草可分為：

1.挺水性雜草（emergent weeds）

多分布於水深一公尺以下之淺水區中；如水位深淺具季節性變化之水體，或規律性洩洪之水庫堤岸邊。根系著生於水底，大部分莖葉露出水面，多數在水面上開花，根系之氧氣由莖葉之通氣組織供應，亦可稱為半水生性雜草(semi-aquatic weeds)，如水燭(*Typha angustifolia*)、香蒲(*T. orientalis*)、蘆葦(*Phragmites communis*)、竹葉菜(*Commelina benghalensis*)及鴨舌草（*Monochoria vaginalis*）等。另外如無柄花石龍尾(*Limnophila sessiliflora*)、圓葉節節菜(*Rotala rotundifolia*)、眼子菜科之 *Potamogeton natans*、及蓴科之 *Brasenia schreberi* 等兩棲性植物(amphibious)，同時具有沉水及挺水葉或沉水及浮水葉，即浮於水面之寬闊葉片和沉於水下之全裂葉片。

2.漂浮性雜草（floating weeds）

分布在大而深之水系中，或具流動性之水渠及池溏中。涵蓋單細胞藻類及大型維管束植物，完全在水中生長及完成生活史，當水體乾涸時，水底泥層中常會留有種子或營養繁殖器官伺機萌發。布袋蓮、大萍(*Pistia stratiotes*)及槐葉蘋（*Salvinia natans*）等根系漂浮於水中，枝葉位於水面，植株具有特化的氣囊，會隨水流漂浮至遠距離；另一種形態之漂浮性雜草為根系固定在底層土壤中，葉片平貼於水面，葉柄隨水深而伸長，水面下亦會長出沉水葉，大氣中氧氣經由葉上表面之氣孔供應水中根系之生長，如荷花(*Nelumbo nucifera*)、臺灣萍蓬草(*Nuphar shimadai*)及角果藻(*Zannichellia palustris*)等。

3.沉水性雜草（submerged weeds）

發生在深淺不同之水系或具流動性之渠道中，大部分幾乎都在水面下萌芽、生長及繁殖，根及營養繁殖器官伸入底層土壤中，葉片呈線形、絲狀或條狀，莖葉內之機械、輸導及表皮角質組織均不發達，多數種類會將花挺出水面以便授粉。依據水的深度又可分為淺水性沉水雜草，如小茨藻(*Najas minor*)、馬藻(*Potamogeton crispus*)等，及水蘊草(*Elodea canadensis*)、水王孫(*Hydrilla verticillata*)、聚藻(*Myriophyllum spicatum*)等深水性沉水雜草。

(二)水生雜草之生長特性

水生生態系的組成極為複雜，水深深度、水流速度、懸浮粒子含量、水溫、光線之穿透性及氣體濃度的變化等，均會影響水生雜草之生長、繁殖及分布。當水溫發生季節性改變時，會影響植物的代謝活性，但水界溫度一般仍較陸地變化小。光照則因為深水引起之吸光度遞減，甚至因為水中所含物質的成分及比例，可能遮蔽特定波長之光線伸入水底，影響光合作用的進行及植株形態的發生。水中氣體濃度則主要指氧氣和二氧化碳的含量，除和植物光合及呼吸作用有關外，二氧化碳還會改變水體 pH 值，限制植物的生長。如布袋蓮之生育主要受溫度影響呈季節性變化，在溫帶地區冬季極低溫下，大部分植株均會死亡，只有極少數殘存至翌春。這些越冬

的個體在春天生長，夏天繁殖，秋天即可造成龐大的族群。但類似雙穗雀稗(*Paspalum distichum*)等岸邊多年生挺水雜草，其蔓藤在嚴寒冬季不具休眠性，若未定期防除族群有逐年增大之趨勢(Shibayama 1981)。

漂浮型雜草其莖葉飄浮在空氣中，對溫度如低溫較敏感，在分布上有季節性及區域性的變化，水中養分含量、深度及水質污染程度亦會影響其生長、繁殖及散布速率。水流速度與生長之穩定性有關，一般在流速緩慢之河域或渠道內發生之數量較多。挺水型雜草根系著生於水底之缺氧層，養分的吸收易受水質影響，大部分在熱帶或亞熱帶之水中，或水系周圍適合生長之地區蔓延。沉水型雜草之生育，則受限於水底碳、氮等營養成分及氧氣濃度的供應，影響光合作的效率，具有薄而大的細胞構造以利氣體擴散，生化上則有與氧氣高度親和之能力，以適應水中環境。

水生雜草通常具有快速的生育及繁殖能力，布袋蓮在臺灣地區主要以匍匐莖(stolon)產生新的分株，於 6-11 月期間(溫度範圍 24-29℃)，幼株數目呈指數型速率增加；植株平均 5.5 日產生一片新葉，葉片壽命長達 2 個月左右才開始老化(未發表數據)。氣候、水質、水流速度及其他水生生物等為影響生育之主要因子；溫度、日照會改變水生植物群落在單位面積產生的生物量(biomass)，一般呈季節性變化。水中氮、磷、鉀、鈣等營養源含量增加，會加速植物的生育及繁衍，但極端的 pH 或水中鹽類濃度過高時，則會抑制植株的正常生長。在水流速度緩慢與渠道兩邊發生大型禾本科或蔓藤植物時，會阻擋水生雜草不被水流沖走，駐留在局部地區逐漸蔓延龐大。

水生雜草大部分都具有營養繁殖體，且以營養繁殖為主。走莖的生長迅速很快產生分株，溫帶氣候下平均 8-14 天，植株密度即倍增，莖節斷裂處也會長出新芽。如槐葉蘋雖只行無性繁殖，但可由頂芽及側芽分出小株，或以走莖繁殖。有些水生雜草也會產生種子行有性繁殖，溫帶地區植株在嚴寒的冬季會整株枯死，只有靠休眠的種子於翌年春天發芽，成為延續族群的唯一途徑。根據 Holm *et al*. (1970)調查，布袋蓮在萌芽後 26 日即開花結子，每株產生的活性種子高達 5,000 粒。這些種子在水底可保存活性 5-7 年，並在適宜狀況下萌芽，發芽率高達到 90％以上(Ueki and Oki 1979)。臺灣地區因為冬季低溫不明顯，布袋蓮植株雖不會產生新的營養體，但母株仍能存活至次年，待夏季溫度升高後即大量繁殖，因此種子的重要性相對減低。

(三)水生雜草之分布

許多水生植物經由(1)人為引進；如 1890-1901 年間日本人以觀賞為目的，將布袋蓮引入臺灣；(2)水生動物或候鳥的夾帶種子；3.纏繞船身之蔓藤類植物隨航線散布至各地區等傳播路徑，而迅速擴展蔓延及廣布於全球各地(洪及呂 1979)。入侵雜草若能適應當地氣候等環境變化，且無原產地天敵所構成的威脅時，在生育上即具有強大的競爭力，成為新侵入環境中之優勢種，且歷經時日後有可能因此改變原有環境中之生物相。以生長型式而言，目前南美、非洲、亞洲等地區人工湖內之水生雜草以沉水型最多，浮漂型次之，挺水型較少。

全球主要水生雜草及分布列於表 1 及表 2，其中布袋蓮為全球性發生之嚴重水生雜草。亞洲地區所分布之種類及

表 1. 全球主要水生雜草(摘自洪及呂 1980, 彭 1996, Lancar and Krake 2002, Oki 1994)。

科名	學名	科名	學名
澤瀉科(Alismataceae)	*Sagittaria* spp.	茨藻科(Najadaceae)	*Najas guadelupensis*
莧科(Amaranthaceae)	*Alternanthera philoxeroides*	柳葉菜科(Onagraceae)	*Jussiaes repens*
天南星科(Araceae)	*Pisita stratiotes*	禾本科(Poaceae)	*Distichlis spicata*
滿江紅科(Azollaceae)	*Azolla caroliniana*		*Leersia herxandra*
	Azolla filiculides		*Panicum repens*
水馬齒科(Callitrichaceae)	*Callitriche verna*		*Paspalum distichum*
金魚藻科(Ceratophyllaceae)	*Ceratophyllum demersum*		*Pennisetum purpureum*
Characeae	*Chara* spp.		*Phragmites australis*
	Nitella spp.	蓼科(Polygonaceae)	*Polygonum hydropiper*
旋花科(Convolvulaceae)	Ipomea carnea		*Polygonum punctatum*
莎草科(Cyperaceae)	*Cyperus articulatus*	雨久花科(Pontederiaceae)	*Eichhornia crassipes*
	Cyperus difformis		Monochoria vaginallis
	Eleocharis acicularis	眼子菜科(Potamogetonaceae)	*Potamogeton crispus*
	Eleocharis palustris		*Potamogeton diversifolius*
	Scirpus mucronatus		*Potamogeton foliosus*
小二仙草科(Haloragaceae)	*Myriophyllun brasiliense*		*Potamogeton natans*
	Myriophyllun spicatum		*Potamogeton nodosus*
水鱉科(Hydrocharitaceae)	*Egeria densa*		*Potamogeton pectinatus*
	Elodea canadensis	槐葉蘋科(Salviniaceae)	*Salvinia* spp.
	Hydrilla verticillata	香蒲科(Trapaceae)	*Typha angustifolia*
浮萍科(Lemnaceae)	*Spirodela polyrhiza*		*Typha domingensis*
千屈菜科(Lythraceae)	*Ammannia auriculata*		*Typha latifolia*

表 2. 全球主要水生雜草之分布(摘自 Lancar and Krake 2002)。

雜草名稱	亞洲	澳洲及紐西蘭	非洲	南美	歐洲	美國及墨西哥
布袋蓮(Eichhornia crassipes)	+++	++	+++	+++	無	+++
香蒲科(*Typha* spp.)	++	++	無	無	無	++
樹牽牛(*Ipomea carnea*	++	無	無	無	無	無
水王孫(*Hydrilla verticillata*)	++	++	無	+++	無	+++
槐葉蘋科(*Salvinia* spp.)	++	++	++	+++	無	++
空心蓮子草(*Alternanthera philoxeroides*)	+	++	+	無	無	++
鴨舌草(*Monochoria vaginallis*)	+	無	無	無	無	無
澤瀉科(*Sagittaria* spp.)	+	+++	無	無	無	無
眼子菜科(*Potamogeton* spp.)	++	+++	+	+++	+++	+++
大萍(*Pistia stratiotes*)	++	無	++	無	無	++

分布頻度：+為發生樣品占總調查樣品之 1-35%；++為發生樣品占總調查樣品之 36-75%；+++為發生樣品占總調查樣品之 76-100%。

數量較多，可能和耕地中灌溉田所占面積居全球之冠有關，水田及灌溉溝渠的廣布，擴展了水生雜草的生存空間。紐澳地區內屬眼子菜科之 *P. ocheratus* 及馬藻為主要之沉水雜草，挺水雜草則以澤瀉科之 *Sagittaria* spp.為主；布袋蓮、人厭槐葉蘋(*Salvinia molesta*)及大萍為非洲地區普遍發生之難防除雜草。美洲地區除布袋蓮、水王孫、槐葉蘋科及眼子菜科等主要水生雜草外，莎草科之 Scirpus 屬、Cyperus 屬、Eleocharis 屬及禾本科之 Phragmites 屬的分布亦十分普遍。至於歐洲地區之重要水生雜草除眼子菜科外，*Myriophyllum heterophyllum* 在灌輸渠道亦屬常見之水生植物，沉水性的 *Callitriche obtusanula* 及 *Elodea muttalli* 則發生在優養化溪流中，其他如蘆葦為重要之湖岸雜草，粉綠狐尾藻(*Myriophyllum aquaticum*)及雙穗雀稗為普遍發生之入侵性草，湖泊及溪河中高密度之 *Lemna minuta* 會造成魚類的死亡及降低無脊椎動物之種間多樣性(Kunii 1991, Lancar and Krake 2002)。

臺灣地區在水生環境大肆破壞、外來動植物危害及競爭、除草劑等農藥毒害與水質嚴重污染的影響下，三百多種之水生植物幾近半數瀕臨絕跡。常見之布袋蓮與大萍即為適應佳、繁殖與生長速度快之外來植物，尤其在夏季高溫時會快速長出許多走莖。每一走莖均可萌發成單一植株，株數幾成指數或對數之速率增加，往往在有限空間內佔據大部分的水面，排擠了其他水生生物的生存資源，也阻礙了水流的順暢，成為水域及渠道內密集發生之水生雜草。其他早期水田內普遍發生之水生雜草如槐葉蘋、浮萍等，可能因為除草劑的大量使用，如今僅在茭白筍等深水田區內出現。

三、水生雜草的危害

水生植物在水生生態系內雖然具有製造氧氣、提供食物及棲所等功能，但大肆繁衍成為水生雜草時，則會改變水生環境原有之性質，影響其他水生生物的存活，以及人類對水資源的利用價值。水生雜草因族群過於龐大，會直接造成河道阻塞泥層淤積，雨季河水氾濫之危害；間接影響為導致水域之蒸發蒸散量大，旱季水位明顯下降，干擾水系的利用。此外亦會成為病蟲原中間寄主，破壞公共衛生影響人體健康。

(一)水生環境的改變

1.降低水體的利用率

(1) 漁業：漂浮及沉水性雜草植株，雖然會提供魚群等水生生物遮蔽及棲息之場所，但生長過密水面被完全覆蓋時，魚群正常的生長及繁殖會受影響，植物殘體分解後，會導致水中溶氧量過低導致魚類窒息死亡。此外水生雜草的發生也限制了水體內各層面物質的混合，降低水生環境的自然肥力，影響魚類的養殖。同時過度滋生之水生雜草還會干擾魚蝦等捕撈工作。

(2) 灌溉：溝渠及溪流中之水生雜草，會減緩水流速度及水流量影響農田灌溉。灌排系統堵塞嚴重時，會導致排水溝內水向外溢流，造成農地及附近地區之湛水，甚至引起局部性水災發生。此外河道中之水草流入水田內，

會干擾整地及栽培作業，和作物競爭養分、傳佈病原菌等，1973 年印度即因水草的發生，使水稻減產 21％ (Kerala Agricultural University 1976)。美國加州每年灌溉計畫之經費，需花費約 30％在防除水生雜草 (Ridout 1980)。

(3) 航運及水力發電：水生雜草會阻擋船舶在水道或河域之移動，植株捲入船身或纏繞發電機之馬達裝置，影響冷卻系統及渦輪的正常運轉，甚至腐敗的殘枝所放出的有機酸，還會腐蝕河堤及損壞水庫內渦輪裝置，降低水力發電效率，以及增加維修費用。

(4) 其他：水生雜草會吸附住水中之碎屑及殘渣，導致水體快速填滿；植物殘體分解後形成之不溶性鹽類沉澱物堆積在池塘、湖泊及渠道，密集之植體使水流減緩泥沙淤積，致河床升高影響水系壽命，甚至導致水體乾涸或變成為沼澤、濕地。

2.降低水庫及水池等蓄水力

經由蒸發散作用(evapotranspiration)減少湖水或水壩之水量。漂浮及沿岸挺水雜草葉片之蒸發蒸散作用，為水系內水量損失之主要原因。如布袋蓮葉片釋出之水量為水面單獨經蒸發損失之水量的 3-4 倍；某些柳樹、西洋杉等木本岸邊植物(phreatophytes)，在日間蒸散作用旺盛時，地下水位也會明顯下降。蒸發蒸散作用所耗損的水量超過水面的自由蒸發量。在布袋蓮二者損失比例為 1.45-6.60：1，槐葉蘋為 1.14：1。實際的蒸發蒸散耗水量前者約為 0.85 ml cm^{-2} day^{-1}，後者為 1.50 ml cm^{-2} day^{-1} 左右，因此往往造成乾旱地區水庫內水量的嚴重乾涸(Brezny *et al.* 1973, Mitchell 1974)。

3.破壞環境衛生及干擾水上活動

水生雜草阻擋部分風力及水波引起的搖動，提供蚊子等幼蟲發育不受干擾之場所，密集枝葉形成的自然遮蔽網，成為蚊蟲棲息的適合環境。此外蝸牛及水蛭等軟體動物的繁殖倍增，隨著漂浮性水草的移動四處散佈，造成環境衛生上的威脅。

水生雜草也限制或阻礙游泳、釣魚、滑水及划船等水上娛樂活動之進行。如布滿藻類植物之游泳池，會因為地面過滑引起絆倒之危險，同時在景觀上的不雅也影響觀光的價值。

水生雜草增加水中有機質的含量而影響水質，且有機質與水泥結合後會影響堤岸混凝土之密實度。繁殖快速之布袋蓮，一個生長季即布滿水面，形成密織的網蓆，整片向下游漂浮，對橋樑結構造成巨大之壓力。

(二)水生生態系的衝擊

過量的水生雜草會和水中其他生物競爭光線、氧氣及養分等，藻類及高等植物對生態系有不同層面的影響。

1.藻類

包括浮游藻及絲狀藻，大部分適合生長在光照下之湖、溪、池塘、及海洋等淡水及鹹水環境中。藻類因為水中氮、磷等營養源過多而大量繁殖時，會使水色呈綠、棕、紅及黑色變化之水華(water bloom)現象，嚴重時更因為藻類死亡造成水中溶氧遽降，形成厭氧或還原狀態，導致好氣性生物無法存活，致整個水生生態系發生逆轉之可能；一般在夏季水流緩慢、上下對流不良、水中 pH

值 7-9、陽光充足且營養含量高之水域較常發生。優養化作用(eutrophication)即為藻類引起水華現象之主因；都市化及農業活動導致過量的植物養分進入水體形成優養化，植物相及微生物相因而發生改變。過量的植物養分會加速固態污水的沉積作用，藻類的組成及大型植株的群落均發生改變(Jeffries and Mills 1990)。能夠忍耐及利用過量養分之水生雜草會迅速繁茂，敏感的水生植物則逐漸消失，以致多樣性降低。此外經某種藍綠藻引起水華現象之污染水，會導致牲畜、寵物及野生生物飲用後，發生中毒死亡現象。大量聚集之藻類群落，也會遮蔽光線影響水底之曝光量，阻礙以種子萌芽為主之沉水雜草的生長。藻類在水體內也會產生不佳的氣味，破壞飲用水之風味，干擾家用或工業上之用途，同時漂浮在水面有如浮渣之藻體，也破壞了水系作為進行娛樂休閒場所之品質。一般而言絲狀藻較易阻塞水管之過濾系統，堵塞水門及渠道干擾水系正常運作。

2.高等植物

種類極廣包括不同構造之水生及中生植物，植株之保護及輸導組織不發達，但與漂浮能力有關之通氣組織，如葉柄及葉肉之基本組織，莖、根之皮層組織的發育卻極明顯。大部分挺水雜草可以生長在堤岸邊或窪地，常見於灌排水系統及水流緩慢之渠道內，一般熱帶或亞熱帶水體最適合其生長、繁殖及散布。漂浮雜草除阻礙水流外，還會經蒸發蒸散作用造成水量的流失，布袋蓮、大萍及槐葉蘋為典型之代表雜草。沉水雜草之繁茂程度視水的深度、濁度及水面下的物理特性而異；在深達 3.5 至 4 公尺之清澈水體中的發生會受限制。一般水生植物也會與浮游藻類競爭養分，影響後者之生物量累積。

四、水生雜草的利用性

水生植物以適當群落出現在水域時，對水生生態系具有平衡氧氣與二氧化碳比例，供給水生生物呼吸及維持水質適當酸鹼值之功能，同時提供幼齡及野生動物庇護與棲息之場所。另外如布袋蓮等漂浮雜草，還可作為草食性魚類及食用螺之飼料，生長在堤岸邊之水生植物也具有保護堤岸，避免水流沖刷的功能(Pieterse 1978)。

水生雜草的潛在用途，如乾燥之布袋蓮施入土壤後，可促進土壤結構及保水力，且其含量豐富的鉀肥，可作為果樹之堆肥。另外還可用為覆蓋作物，保持土壤水分、溫度及防除他種雜草種子。其次水草可作為水陸動物的食物，如布袋蓮含多種胺基酸，可調配成飼料的添加物。水草尚可成為工廠之原料，如布袋蓮之葉柄富含纖維質，在藤業加工廠可以加以利用；其紙漿產量也高達 31%，可用於造紙業(Pieterse 1978)；其他所含的化學物在商業上也有頗大利用價值。另外水草會吸收渠道中工廠排放之廢物，及農田流失之農藥，清潔水質維持他種水生生物之生存(Kerala Agricultural University 1976, Oki 1992)。某些水生雜草具有特殊之株形與花色，適當管理下可作為美化水生景觀的觀賞植物。

布袋蓮、*Lemna* sp.、*Pharagmites* sp.

及 *Azolla* sp.等水生雜草可利用為減少污染水中養分含量的方法，因為這些植物會顯著而快速的吸收養分，目前也有關於 *Typha* sp.、*Scirpus* sp.、*Iris* sp.及 *Phragmites* sp.等植物，在天然及人工廢水處理的研究。布袋蓮等 13 種水生雜草進行有關家庭廢水污染溝渠之淨化試驗，歷經一年減少 83%之全氮及 92%之磷含量，特別是 *Iris*、*Juncus* 及 *Elodea* 具累積氮、磷之功能(Oki 1994)。許多水生植物在減低農、工業及家庭廢水污染上，也扮演了暫時的淨化角色，或提供浮游生物及魚類等之食物。近年來美國、印度、中國等科學家，從事沼澤地帶水生植物分解後產生甲烷等天然氣之研究，企圖從水生雜草尋找替代能源之可能性。

但目前有關水生雜草之利用性，大部分止於試驗階段，所以在實際利用上需考量以下數點(Ridout 1980)：

(1) 水生雜草之利用，主要仍基於防除目的，因此在處理過程中仍需注意經濟評估，發展簡易運輸、處理及儲藏之流程。
(2) 水生雜草所含的水量很高，一般用擠壓及日曬法除去多餘水分，此可能影響其內品質及養分含量，造成利用上的限制。
(3) 水生雜草若為利用而任其大量生長繁殖，會成為蟲病原之寄主，影響人畜健康或流入河道造成危害。

因此水生雜草之利用在付諸實施前，需縝密的研究和發展，適當的設計及管理以確保效益。

五、水生雜草的管理

水生雜草的管理，Soerjani (1975)將其分為四步驟：(1)問題的確立，包括水生雜草的分類，生理及生態特性，和危害程度的評估；(2)選擇防除的方法，包括預防、物理、改變棲息環境、生物、化學等防除方法，及系統化的綜合管理；(3)防除方法的實施和效果的評估；(4)建立水生雜草的長期管理策略，包括從限制引進，利用及防除等各方面，以控制水生雜草族群的過於發展。因此所有包括預防、物理、生物及化學等傳統的防除方法，均需做長、短程效益、環境及管理適用性、防除水準及成本的評估。一般化學防除方法可提供最快速有效之短期效果，但長期性之水生雜草管理，應從控制水源養分著手。另外改變棲息環境亦為水生雜草的防除方法之一，若能配合化學防除等其他方法適時的使用，應能符合經濟效益、生態平衡、及環境保護的期望。

(一)預防性防除法

預防性防除包括三個主要目標；防止種子散布、消除供應生長之營養來源、及減少可固定根系之淺水區域。

1.防止種子散布

水生植物似乎會快速蔓延至各處水塘中，藻類孢子會隨風飄散，水鳥的腳趾及羽毛、動物的皮毛會攜帶孢子、種子及植物的片段至各處，人類因為航行及旅遊也會將水生雜草四處散布。利用水生植物作為魚類等飼料或棲所，或將放置有水草之水族箱任意傾倒至湖泊或排水道中，為最常見之種子散布方法。任何出現在水塘或渠道之水生雜草，應立即在開花及形成種子前移除是為防治

之上策。

針對外來水生雜草入侵之最有效方法為避免其引入，利用檢疫法規及相關法則，強制禁止外來植物的入侵；如作物種子及有害草種的檢查，即依據任何在生長期間，直接或間接危害作物及牲禽的生育、影響灌溉、水域利用、水生及野生動物的生育、或公共衛生等植物，進行其在當地生育及蔓延，對環境及生態影響之風險評估，採取禁止及限制(次級有害雜草)的手段。以臺灣目前造成問題之外來雜草中，部分是農業單位及個人藉研究、觀賞或營利為目的所引進。對同為熱帶或亞熱帶生長及繁殖力強，危害潛力高之植物，國人尤其應該保持高度警覺，不可輕意帶入任其生長繁衍。

2.控制營養源

避免溪流、湖泊及蓄水池內氮磷鉀等營養源之流入，為近年來防治水生草的主要項目之一。灌排溝內之肥料，牲禽飼養場之排泄物，污水處理場及下水道之排放水，含磷清潔劑之家庭廢水為營養源之主要來源。因此，有效遏止水源的污染，為解決水生雜草蔓延的根本之道(Shelton and Murphy 1989)。減少營養源流入水域之方法涵蓋以下數點：(1)水域周圍保留適當隔離帶，以防止逕流及養分吸收。(2)水體四周如有草坪及高爾夫球場等重肥施用區，應設置不施肥區，避免流入鄰近池塘及湖泊中。(3)避免牲畜進入水體內，減少其排泄物之流入，及防止堤岸土壤的崩解。(4)水體區應使用不整地(最小)耕作法，避免土壤的流失。(5)於支流進入主水體前，構築蓄水池吸收其中營養源，以減少養分的流入。(6)除需維持魚池內浮游藻之生長外，避免將肥料直接丟人水體。(7)訂定污水場及排水管之排放水標準，污水場內禁止使用有毒染劑。

減少養分為控制浮游藻等生物繁衍最有效之方法，但養分控制法對已建立族群之水生植物影響不大，對水底尚無豐富養分沉澱之新建水體，防止其水生雜草的蔓延較具成效。

3.消除淺水區域

新建之池塘或湖泊應避免低於90公分以下之淺水區過大，以防止岸邊雜草的深入及繁衍。

(二)物理防除法

移去已存在之水生雜草植株，包括人工拔除及使用耙子等各種機械器具。人工拔除最為有效，可移去雜草的任一部分，避免遺留之種子或地下部營養繁殖體再生，符合長期控制的目標，只是費時費工不符經濟原則。機械器具包括具拖曳裝置之機具，通常用於灌排溝渠植株及移除沉澱，只是需經常性重複使用且花費昂貴。雜草清除機則用於較大池塘及湖泊，可移去大部分之水生植體，包括絲狀藻及水面下 10-13 公分深之沉水植物。但清除機的使用及維護費用頗為昂貴，同時亦需重複使用，以防止未剪斷部分之再生，通常不適淺於90-120 公分深之水系使用，而適用於較大之水系(Roegge and Evans 2003)。機械防治之優點為不會殘留植體於水中分解，造成氧氣耗損及營養源增加之危機，但收集之植體需有適合之處所置放及做後續之處理。不具植體收集裝置之剪草機則不適用於水系雜草防除，因為任何留在水中之植體均有可能再生新根

及侵入未滋生雜草之水域。

人工及機械防除，為最直接而不易產生他種負面影響之方法，在水生雜草種類複雜的地區，亦不致破壞某些雜草的利用性，但是其效果在多次重複後才趨顯著，因此人工缺乏、工資昂貴的狀況下是較不經濟的。此外尚需從事新機械發展的研究，以適合不斷發生的草種。

(三)棲所改變防除法

改變水生雜草發生地區之環境，包括：(1)沿岸排列碎石等，防止堤岸邊水生雜草之滋生。(2)冬季或乾旱期移去水底淤泥，可防除沉水及漂浮性雜草及降低水位。(3)在小型集水池內之底層覆蓋黑色塑膠布，可防止沉水雜草之生長。(4)施用無毒染劑遮蔽水面光線的照射，可防治沉水雜草之生長，但因為在整個生長期均需維持一定濃度，故大多在雜草萌發前之靜態水域(池塘等)內使用。(5)通氣有利於水體內之生命，但對水生雜草之防除效果不大，通氣裝置包括將氣體打入深水缺氧處，或將底層水抽至表面與空氣混合，主要是減少藻類產生水華現象。

(四)生物防除法

即利用生物體防治害物之方式，引進原產地生態系內菌類或昆蟲等天敵，在水生雜草群落發育的適當時期釋放以達到壓制的效果。但天敵寄主範圍的專一性，則為首要測試項目，以免造成地區農業的危機。此外天敵對本地環境之適應性，亦為防治(除)成效上的重大考量。

一般因為水生環境所受干擾較低，且水生作物之產值不高，成功使用後會得到長期之防治(除)效果，較之機械及化學防除為低成本之技術；包括昆蟲、軟體動物、魚類、爬蟲類、鳥類、哺乳動物、病原菌、及他種植物的競爭等應用。實際案例有防治滿天星之金花蟲(*Agascicles hygrophila*)(Bennet 1974)；以沉水雜草或浮萍為食之草食性鯉魚(Barrett *et al.* 1990)；會使布袋蓮感病之*Alternariaeichhorniae*, *Myrothecium roridum* 和 *Rhizoctonia solani*(Oki 1994)。但生物防治使用之昆蟲或他種動物，均需具嚴格之專一性食性，鵝、鴨等禽類也具有某種程度之效果，但其排泄物會造成水體之優養化，導致浮游藻類產生水華現象。

(五)化學防除法

一般使用除草劑為最經濟簡便而速效的方法，通常施用 1-2 次，效果即可持續一段時間。除草劑使用之時間及方法，隨雜草種類及生長特性而定，表 3-1 及表 3-2 所列為防治水生雜草之除草劑：其中 2 ,4-D 使用最廣，且在高劑量施用時殺草範圍大，對其他水生生物毒性小，但易飄散至附近田區，引起非目標作物之藥害；巴拉刈(paraquat)和 diquat 對浮漂雜草最有效，且易於吸附在水體中之有機顆粒上，對飲用及灌溉水的污染性小；達拉本(dalapon)則被推薦為防治水邊雜草，但使用時應小心避免灼傷皮膚；銅類化合物如硫酸銅對藻類防治有效，但對維管束植物則只能抑制其生長而不能根除。除草劑在水體施用時，應具備對環境中人、魚及其他生物絕對安全，不論在靜態或動態水域均可方便使用，且在殺草效果發揮後即迅

速分解及消散之特點。尤其應注意對環境的汙染，有關藥劑在水中分解時間及最終產物之物化性資料頗多，使用時以具高選擇性之藥劑為佳。目標水體之大小及位置、氣候、水源使用及移動、局部或全面用藥及法規之限制為除草劑正確使用之決定因子(Chandran and Semmens 2002)。

除草劑之效果一般仍屬於短期之雜草防除，依據藥劑選擇性及雜草種類，控制期的長短從幾星期至幾個月，使用範圍則受限於水源的利用情形。臺灣地區目前僅針對布袋蓮之防治，登記有41%嘉磷塞(glyphosate)異丙胺鹽溶液及61.6%三氯比乳劑(triclopyr)等除草劑，但實際仍以人工撈除為主。魚蝦養殖池中絲藻之防治，登記有3.7%乙醇胺銅粒劑(copper chelate)及 9%乙醇胺銅溶液(copper chelate)(費及王 2002)。

使用除草劑防除水生雜草方法簡便、速效且適合在多種環境下施用，因而導致人們忽略了其他防除方法之適用性，尤其是預防營養源流入水域及避免淺水區域過大，為減少或消除水生雜草生長的根本因素。因此一個健全妥當之管理策略是整合預防、栽培、機械及除草劑必要使用，以提供水生雜草長程的控制之方案。

表 3-1. 水生雜草防除藥劑(摘自洪及呂 1979, Lancar and Krake 2002, Masser *et al.* 2001)。

雜草名稱	除草劑	雜草名稱	除草劑
挺水雜草 (Emergent weeds)			
Jussiaea repens var. *glabrescens* (Creeping water primrose)	2,4-D Paraquat	*Sagittaria* sp. (Arrow head)（澤瀉科）	2,4-D Paraquat
Justicia americana (Water willow)（爵床科）	2,4-D Paraquat	*Scripus actus* (Bulrush)(莎草科）	2,4-D Paraquat
Nuphar advena (Spatterdock) （睡蓮科）	Glyphosate	T*ypha spa*. (Cattail) （香蒲科）	Dalapon Paraquat Glyphosate
Phragmites karka (Phragmites) （開卡蘆）	Glyphosate		
浮水雜草 (Floating weeds)			
Eichhornia crassipes (Water hyacinth)(雨久花科）	2,4-D Paraquat	*Potamogeton nodosus* (American pondweed) （眼子菜科）	Endothall
Nymphaea spa (Water lilies)(睡蓮科）	Dichlobenil 2,4-D	*Wolffia columbiana* (Water mela)(浮萍科）	Simazine
Lemna minor (Common duckweed) （浮萍科）	Diquat cation Endothall Simazine		
藻類*(algae)*			
Chara spp.	Dichlobenil Copper sulfate	Filamentous algae	Copper sulfate Simazine

表 3-2. 水生雜草防除藥劑(摘自洪及呂 1979, Lancar and Krake 2002, Masser *et al.* 2001)。

雜草名稱	除草劑	雜草名稱	除草劑
沉水雜草 (Submerged weeds)			
Ceratophyllum demersum (Common contrail) (金魚藻)	Endothall 2,4-D Diquat cation Diquat cation/copper Triethanolamine complex	*Potamogeton crispus* (Curly leaf pond weed)(馬藻)	Endothall Diquat cation Dichlobenil Diquat cation/copper Triethanolamine complex Simazine
Elodea canadensis (Elodea)	Copper ethylenediamine complex Diquat cation Diquat cation/copper Triethanolamine complex	*P. foliosus* (Leaf pound weed) (眼子菜科)	Endothall Diquat cation Dichlobenil Fenac Simazine
Heteranthera lubia (water stare grass)	Diquat cation Endothall	*P. pectinatus* (Sago pond weed) (龍鬚草)	Endothall Diquat cation Dichlobenil Fenac Simazine
Najas flexillis (Slender naiad) (茨藻科)	Copper-ethylenediamine complex Diquat cation Diquat cation/copper Triethanolamine complex Endothall Dichlobenil	*P. pusillua* (Small pond weed) (柳絲藻)	Endothall Diquat cation Dichlobenil Fenac Simazine
N. guadalupensis (Southern naiad) (茨藻科)	Copper-ethylenediamine complex Diquat cation Diquat cation/copper Triethanolamine complex Endothall Dichlobenil	*Ranunculus trichlordyll* (White butter cup) (毛茛科)	Diquat cation
Myriophyllum spp. (Water milfoil) (小二仙草科)	2,4-D Endothall Diquat cation Dichlobenil Fenac		

六、結語

水生植物在水生生態系中扮演著製造氧氣，提供水生動物棲所及食物之重要角色，在族群分布適中時也具有吸收水中過量營養源純淨水質之功能。但在水域內養分含量過高形成優養化時，耐性的植物過度繁殖蔓延成為具有危害潛力之水生雜草，通常污水與雜草之密切關係為普遍存在之現象。因此水生雜草的防除實為水資源管理中的一環，針對水源的利用情形，符合經濟及環境安全的原則，控制植物生長與繁衍之速率。

水生雜草的管理在全球各地，包括臺灣地區都是迫切需要徹底執行之工作。目前人工及機械撈除最為普遍，但效果是暫時性的且所費不貲，化學及生物防除在大面積之施行不易。因此針對雜草問題發生之類型，及水體功能與利用情形，同時考量對環境衝擊之風險，亟需訂定一個可供遵循之適當管理系統。通常雜草清除的效果愈佳，負面衝擊之風險愈大。此外水系也被視為公共休閒娛樂之區域，水生雜草管理系統必需符合社會大眾，及環境可接受之形式來發展，任何單一之防治方法是不能成功的達到雜草管制之目的。結合數種適合之方法，包括雜草之利用性，根據生態法則，發展綜合防除技術，建立水生雜草的長程管理辦法。

七、參考文獻

洪亮吉、呂理燊。1979。排水溝布袋蓮防治試驗。植保會刊 21: 194- 205。

洪亮吉、呂理燊。1980。臺灣農地雜草。p.172-188.中華民國雜草學會，臺北。

彭鏡毅。1996。臺灣維管束植物編碼索引(初版)。行政院農業委員會委託，中央研究院植物研究所執行。臺北市。156 pp.

費雯綺、王玉美 編輯。2002。植物保護手冊。p.757-759。行政院農委會農業藥物毒物試驗所編印。行政院農委會農藥技術諮議委員會審定。臺中縣霧峰鄉。

蔣永正、呂理燊。1984。水生雜草的防除。中華民國雜草學會會刊 5: 36- 42.

Barrett, P.R.F., K.J. Murphy and P.M. Wade. 1990. The management of aquatic weeds. p.473-490. *In*: Weed Control Handbook. R.J. Hance and K. Holly, eds. Blackwell Scientific Publications, Oxford, England.

Bennet, F.D. 1974. The control of aquatic weeds. 6.3. Biological control. p.99-106. *In*: Aquatic vegetation and its use and control, D.S. Mitchell, ed. UNESCO, Paris.

Brezny, O., I. Mehta and R.K. Sharma. 1973. Studies on evapotranspiration of some aquatic weeds. Weed Sci. 21:197-204.

Chandran, R.S. and K. Semmens. 2002. Pest Management: Choose the correct herbicide to control weeds in ponds. WVU Extension Service. 2 pp.

Holm, L.G., L.W. Weldon and R.D. Blackburn. 1970. Aquatic weeds. PANS 16:576-589.

Jeffries, J. and D. Mills. 1990. Freshwater Ecology. Belhaven Press, London, England.

Kerala Agricultural University. 1976. Report on the work done under Kerala Agricultural University on the control of Salvinia. Kerala Agr. Uni. Manuthy, Trichur.

Kunii, H. 1991. Aquatic macrophyte composition in relation to environmental factors of irrigation ponds around Lake Shinji, Shimane, Japan. Vegetation 97: 137-148.

Lancar, L. and K. Krake. 2002. Aquatic weeds and their management. ICID • CIID report. Internation Commission on Irrigation and Drainage. 65 pp.

Masser, M.P., T.R. Murphy and J.L. Shelton. 2001. Aquatic Weed Management: Herbicides. SRAC Publication No. 361. 6pp.

Mitchell, D.S. ed. 1974. Aquatic vegetation and its use and control. Unesco, Paris. 135pp.

Oki, Y. 1992. Effect of aquatic weeds on nutrient removal from domestic sewage. Proc. of the 1st International Weed Control Congress 2: 365-371.

Oki, Y. 1994. Integrated management of aquatic weeds in Japan. FFTC Database on Asian Agriculture- Plant Protection- Weed Control 96-104.

Pieterse, A.H. 1978. The waterhyacinth (*Eichhornia crassipes*): A review. Abstracts on Tropical Agriculture 4:9-42.

Ridout, J. 1980. Water weed problem, potential utilization and control. Center for Oversea Pest Research, London. 21pp.

Roegge, M. and S. Evans. 2003. Managing aquatic plants. University of Illinois Extension, Illinois. 4 pp.

Shelton, J.L. and T.R. Murphy. 1989. Aquatic Weed Management: Control Methods. SRAC Publication No. 360. 2 pp.

Shibayama, H. 1981. Aquatic weeds in creeks and their control in Japan. p.240-255. *In*: Weeds and Weed Control in Asia. FFTC Book Series No. 20.

Soerjani, M. 1975. Integrated Control of Weeds on Aquatic Areas. p.121-151. *In*: Integrated Control of Weeds. J.D. Fryer and S. Matsunaka, eds. Univ. of Tokyo, Tokyo.

Ueki, K. and Y. Oki. 1979. Seed production and germination of *Eichhornia crassipes* in Japan. p.257-260. Proc. 7th Asian-Pacific Weed Sci. Soc. Conf. Sydney, Australia.

第十三章　蔬菜田之雜草管理

蕭政弘
行政院農業委員會臺中區農業改良場

一、前言

臺灣地處亞熱帶氣候地區，常年溫度皆適宜，各種雜草危害問題週年皆可發生，雜草與蔬菜競爭水分、養分及光線等生長資源，造成產量下降、品質劣化、干擾田間作業及增加採收困難度，並媒介蔬菜病蟲害，不利蔬菜之生產。蔬菜田雜草種類與發生特點受季節、耕地狀況、前作種類及除草劑使用狀況影響，且因蔬菜品種繁多、形態各異、栽培方式複雜及輪作頻繁等，各類蔬菜雜草防除並不相同，各種不同的人工、化學及物理除草法被開發應用。

近年來以化學除草法取得最大的進展，臺灣自 1968 年理有龍(linuron)正式登記於蘆筍田以來，除草劑之應用逐年普及與廣泛。但目前登記藥劑僅佔所有經濟栽培蔬菜之三成，因此農民多以其多年栽培經驗自行選擇防除田間雜草的除草劑，唯農藥殘留問題值得注意。由於近來環保意識抬頭，未來應加強雜草綜合管理(integrated weed management, IWM)應用，開發低毒性與低劑量之除草劑，並配合選種適時、適地、適作，將有助於蔬菜田之雜草管理，提高蔬菜田雜草管理之經濟效益和環境安全性。

二、蔬菜田雜草防除之需求與時期

任何農作物的生產，雜草的危害都是無可避免，蔬菜的栽培也同樣免不了，雜草的干擾。多數蔬菜的消費以其鮮嫩多汁的部位為消費對象，因此品質的好壞，取決於肥料與水分是否充沛的供應，因此也為各種雜草之生長創造了有利之生長條件。雜草會與蔬菜植株競爭水分、養分、光線及其他生長資源。臺灣過去田間試驗顯示，蔬菜田在全期不除草狀況下，減產達 20-30%之間(邱及鍾 1996)，特殊狀況可造成 80%以上之減產(鍾 1994)，蔣及呂(1987)指出臺灣地區直播蔬菜因雜草競爭，造成產量之損失為 21%，移植蔬菜為 33%。根據國外資料指出蔬菜園雜草覆蓋率在 15%時，可導致胡蘿蔔減產 37%，洋蔥減產 48%；當雜草密度達 30-50%時，胡蘿蔔減產 47-62%，洋蔥減產 67-68%。在香附子競爭危害下，大蒜、胡蘿蔔、菜豆、胡瓜、甘藍及番茄各可減產 89%、50%、41%、43%、35%及 53%(William and Warren 1975)。田間雜草之滋生，亦會導致蔬菜品質劣化、干擾田間作業及增加採收處理之困難度。雜草為蔬菜病蟲媒介之角色亦不容忽視，寄主範圍廣之病

蟲害，大多可在雜草上繁衍，而寄主範圍窄之病蟲如小菜蛾、根瘤病菌，亦均可輕易的找到同科之雜草寄生。因此，除需考慮當期作之蔬菜外，蔬菜田附近及前後期作，田中之雜草都應列入考慮範圍。

雜草與蔬菜的競爭取決於作物與雜草競爭期(duration of weed competition)及無草期(weed-free period)之長短，兩者為相對概念，前者為蔬菜生育至某階段就該除草，以免雜草競爭影響產量；後者乃指蔬菜生育至某階段後就不用除草，透過自身的生育競爭力即可(Zimdahl 1999)。雜草防除的關鍵期(critical period)，包含雜草競爭期及無草期兩個概念。以甘藍為例，移植後至少要維持田間三星期無雜草狀態，才不致影響產量；或是在雜草萌芽後 4-5 星期就應將雜草去除，以免影響產量，因此甘藍雜草防治關鍵期，為種植後 3-5 星期。對大多數蔬菜而言，種植後生長三至五週都可忍受雜草的競爭，但作物對雜草之忍受期與作物形態及生育速度、雜草種類及氣候條件有關。對生育快速之蔬菜，無草期可能很短，但對洋蔥等生育緩慢作物，整個栽培期都要保持無草狀態，因此無草期幾乎為整個栽培季。

三、蔬菜田發生之主要雜草與特徵

臺灣農田有記錄之雜草 500 種以上，露地生產之蔬菜多為旱地栽培，其雜草亦以適於旱地條件之乾生及中生型植物為主。根據臺灣大學農學院於 1967 年調查指出(表 1)，春作蔬菜取樣 111 點，秋作 91 點，涵蓋面積 114,754 公頃，春作雜草有 122 種(species)，秋作雜草 102 種(林 1968)。蔬菜雜草發生的種類因蔬菜種類、栽培季節、土壤條件不同而異，其中發生普遍且危害甚烈的有馬齒莧、牛筋草、野莧、鱧腸、藿香薊、碎米莎草、節節花、變葉藜、香附子、絹毛馬唐、芒稷、稗草、加拿大蓬、飛揚草、小畦畔飄拂草、短葉水蜈蚣、酢醬草、兩耳草、山芥菜、假吐金菊、鵝兒腸及龍葵等 22 種雜草，其中馬齒莧、牛筋草、野莧、鱧腸、藿香薊及碎米莎草等 6 種雜草在春秋兩作危害都相當嚴重。1991-1992 年農藥所調查顯示，平地及高冷地蔬菜田常見之雜草均在 50 種以上，種類較多之科包括菊科、禾本科、莎草科、玄參科，十字花科及蓼科(蔣及徐 1993)。夏秋季生長季節溫暖多濕，平地蔬菜田發生頻率較高之雜草馬齒莧、牛筋草、野莧、鱧腸、通泉草、小葉灰藋、飛揚草、山芥菜、龍葵及野塘蒿。高冷地蔬菜田最常發生之雜草，依次為鵝兒腸、早熟禾、歐洲黃苑、苦菜、野塘蒿、龍葵、小葉碎米薺、大扁雀麥、圓葉錦葵及昭和草。

蔬菜田雜草的發生隨自然環境和栽培方式有所不同，就同一地區而言，雜草的種類及危害會因下列因素存在而有差異：(1)長年耕種的老菜園，由於長期施用肥料，土壤速效氮含量高，雜草生長茂盛，整體危害較新菜園嚴重，尤其是喜氮雜草如馬唐、小葉灰藋及野莧(沈等 2003)。(2)蔬菜田前作作物種類與雜草種類及數量有一定關係，前作為水稻時除有一般旱田雜草外，尚有部份水田混生性雜草，如水莎草及雙穗雀稗的分佈明顯高於前作為旱作的菜

表 1. 臺灣常見蔬菜園雜草(摘自 1.臺灣耕地之雜草(林 1968)。2.蔬菜田之雜草防治(蔣及徐 1993)。3.植物保護手冊，2002 年版)。

		1967 危害程度		1992 發生頻率(%)		目前登記除草劑可防除之雜草
中文名	學名	春作	秋作	平地	高冷地	
馬齒莧	*Portulaca aleracea*	○	○	96	-	★
牛筋草	*Eleusine indica*	○	○	92	-	★
野莧	*Amarnathus viridis*	○	○	82	-	★
鱧腸	*Eclipta prostrata*	○	○	72	-	★
藿香薊	*Ageratum comyzoides*	○	○	-	-	★
碎米莎草	*Cyperus iria*	○	○	-	-	★
節節花	*Alternanthera nodiflora*	○	△	-	-	★
變葉藜	*Chenopodicem acuminatum*	○	△	-	-	
香附子	*Cyperus rotundus*	○	△	-	-	★
絹毛馬唐	*Digitaria sericea*	○	△	-	-	★
芒稷	*Echinochloa colona*	○	△	-	-	★
稗草	*Echinochloa Crusgalli*	○	△	-	-	★
加拿大蓬	*Erigeron canadensis*	△	△	-	-	
飛揚草	*Euphorbia hirta*	△	△	48	-	★
小畦畔飄拂草	*Fimbristylis aestivaeis*	△	○	-	-	
短葉水蜈蚣	*Kyllinga brevifolia*	△	○	-	-	
酢醬草	*Oxalis corniculata*	△	△	-	-	
兩耳草	*Paspalum conjugatum*	△	○	-	-	
山芥菜	*Roippa atrovirens*	○	△	39	-	★
假吐金菊	*Soliva anthemifolia*	△	△	-	-	
鵝兒腸	*Stellaria aquatica*	△	△	-	84.3	★
龍葵	*Solanum nigrum*	○	△	36	43.1	★
通泉草	*Mazus japonicus*	-	-	62	-	★
小葉灰藋	*Chenopodium ficifolium*	-	-	58	-	★
野塘蒿	*Erigeron sumatrensis*	-	-	36	58.8	
早熟禾	*Poa annua*	-	-	-	76.5	
歐洲黃苑	*Senecio vulgaris*	-	-	-	70.6	
苦菜	*Sonchus oleraceus*	-	-	-	62.7	
小葉碎米薺	*Cardamine parviflora*	-	-	-	41.2	
大扁雀麥	*Bromus catharticus*	-	-	-	41.2	
圓葉錦葵	*Malva neglecta*	-	-	-	41.2	
昭和草	*Erechtites valerianaefolia*	-	-	-	39.2	

註：○表示危害嚴重；△表示危害中等；★表示具防治效果。

田。反之，前作為旱作的菜田，小葉灰藋及早熟禾等旱地雜草發生率高於前作為水田的菜田。(3)小葉菜類由於生長快生育期短，因此如千金子及馬唐等生長期長雜草易於開花結子前即被拔除；而小葉灰藋、野莧及馬齒莧等生育期短、生長快之雜草則能適應，危害嚴重。茄子及辣椒由於生育期長，田間千金子及馬唐等雜草危害嚴重，小葉灰藋及野莧反被抑制。(4)蔬菜栽培季節溫度多在 10℃以上，雜草種子均可發芽，但其生長發育有季節性差異。高溫潮濕之季節中，禾本科雜草居絕對優勢；在冷涼季節如平地之冬裡作期間，田間則以闊葉雜草為主(蔣及徐 1993)。(5)生長條件不同的蔬菜，雜草危害種類及程度均不同。如芋頭喜濕，田間經常灌水，土壤水分含量高，濕生雜草如碎米莎草及千金子危害嚴重，而馬唐及牛筋草危害相對較輕。長期旱生韭菜田，以香附子及馬唐等旱生雜草為主，卻少見千金子及野稗等雜草危害。(6)除草劑之使用與蔬菜田雜草發生及種類有一定關係，經常使用除草劑之田區，雜草發生與危害相較於不用藥的田區輕微。此外，除草劑之種類亦造成雜草相之變遷，如田區經常使用闊葉雜草除草劑，則禾本科雜草發生嚴重。反之，若經常使用禾本科雜草除草劑，則闊葉雜草較多。

四、蔬菜田雜草防除特色

(一)蔬菜種類繁多形態各異

蔬菜栽培為臺灣重要的農作產業之一，種植面積僅次於水稻之 272,124 公頃及果樹之 220,368 公頃，達 165,822 公頃(表 2)。蔬菜種類繁多，可供利用之蔬菜涵蓋 43 科 200 種以上之作物，涉及之種類包括根菜類、莖菜類、葉菜類及果菜類。作為經濟栽培者有 41 種，以十字花科、胡蘆科、茄科、豆科、蔥科為大宗(農業統計年報 2003)。在作物種屬、形態、生長習性、栽培季節、管理方式及土壤條件等，都有極大之差異存在，增添不少雜草防除上之困擾，由於蔬菜種類多，在進行化學防除時，各種蔬菜之耐藥性有一定的差異，在藥劑選擇上需有較多之考量。例如三福林(trifluralin)在直播蔬菜或苗床上應用，對胡蘿蔔及芹菜等繖形科蔬菜無藥害產生，對豇豆

表 2. 臺灣主要栽培作物及除草劑登記概況(摘自 1.農業年報，2003 年版。2.植物保護手冊，2002 年版)。

作物別	種植面積(ha)	主要作物種類(No.)	登記藥劑數量(No.)	登記藥劑比(%)	登記使用方法(No.)
水稻(rice)	272,124	1	1	100%	94
果樹(fruit trees)	220,368	33	12	36%	46
蔬菜(vegetable crops)	165,822	41	14	34%	38
雜糧(upland crops)	68,208	8	4	50%	51
特用作物(special crops)	52,386	6	5	83%	43
花卉(flower crops)	12,010	17	1	6%	1

及毛豆等作物亦甚安全，對小白菜及結球白菜有輕微藥害，對番茄、茄子和青椒等茄科蔬菜有一定藥害，對韭菜、菠菜和胡瓜則有嚴重藥害(沈等 2003)。由於形態各異，有直立如玉米，蔓性如西瓜，中耕的時間及使用之機具亦不相同。

(二)栽培方式複雜

蔬菜的栽培包含露地栽培、畦面覆蓋栽培及設施栽培，由於栽培方式多樣化，在不同的條件下，雜草之發生時間與生長速度有明顯差異，除草劑藥效發揮及藥害的產生也各不相同。例如，在設施栽培狀況下，雜草發生較早，除草劑用量通常較露地栽培低，除草比露地效果好，有時在相同劑量下，露地應用不產生藥害，而在設施就容易產生藥害。

(三)輪作頻繁

為提高蔬菜單位面積產量，農民在長期的生產中，累積許多提高複種指數的經驗。在除草劑的選擇上除要考慮當期作之除草效果，還要考慮除草劑的殘效可能造成下期作之藥害。如理有龍對香菜較安全，但由於殘效期長，下期作種白菜等十字花科蔬菜就易產生藥害(沈等 2003)，滅必淨(metribuzin)用於番茄是安全的，但下期作為葫蘆科作物常有藥害，所以輪作頻繁對除草劑之應用帶來相當難度。草滅淨(simazine)、草脫淨(atrazine)、達有龍(diuron)、依滅草(imazapyr)等藥劑，土壤殘效多在 2 個月以上，後作或間作所栽植之作物可由土壤吸收此類藥劑而引起藥害(蔣及蔣 2001)。

五、不同蔬菜田雜草防除要點

一般而言，播種後萌芽較晚、植株矮小、生長緩慢而莖葉部份不能形成良好地面覆蓋之蔬菜，受雜草競爭影響較大。蔣及徐(1993)依主要類別蔬菜作物雜草防除需求及特性分類如下(表 3)：(1)十字花科蔬菜如甘藍、結球白菜、花椰菜、芥菜等栽植密度高，生長快速，中後期可形成相當程度之覆蓋。在與雜草之競爭上，移植栽培者較直播者佔優勢，一年四季以夏秋季最為嚴重，控制種植初期之雜草生育，為此類作物防除重點，有多種可供使用之萌前除草劑。(2)葫蘆科如胡瓜、絲瓜、西瓜具有蔓生之地上部，莖葉生長快速，一般採用較大之行株距，中耕除草方便。瓜類植物可用之萌前除草劑少，栽培早期常依人力、機械除草或畦面覆蓋。行支柱或棚架栽培者，在中後期可定向噴施接觸型非選擇性除草劑，防除行間雜草。平面栽培者，在生長中後期，寬廣之行間雜草與作物莖葉混生，非競爭性之干擾大，人工及機械除草相當困難，適用之除草劑僅能防除禾本科雜草。(3)蔥科及繖形科蔬菜，如大蒜、洋蔥、胡蘿蔔及芹菜，通常植株矮小，株形直立，幼苗生長緩慢。生長之中後期，地上部仍無法形成良好之覆蓋，雜草在各時期均可造成競爭性之危害，需防除之時期長。因栽培密度高，不易行有效之機械除草，此類作物對選擇性除草劑之依靠高，全期之防除需要使用殘效較長之藥劑或施用一次以上之短效性藥劑。(4)豆科蔬菜如毛豆、豌豆及菜豆，與雜草之

表 3. 各類蔬菜之雜草防治需求及特色(摘自蔣及徐 1993)。

類別	雜草危害程度	防治期間	人工、機械防治	登記藥劑	可用藥劑
十字花科 *(Cruciferae)*	中	中	中	不足	多
瓜科 *(Cucurbitaceae)*	中	長	易	不足	少
蔥科、繖形科 *(Alliaceae、Umbelliferae)*	大	長	難	不足	多
豆料 *(Leguminosae)*	小	短	易	不足	多
茄科 *(Solanaceae)*	中	長	易	足	多
撒播小葉菜類 *(Broadcast-seeded vegetables)*	大	短	難	不足	少

競爭能力強，密植而生長良好之毛豆，在 30 天內即可覆蓋畦面，通常僅需於栽培之早期除草。豆科作物多為大粒種子，所以對除草劑之忍受性較高，可使用之除草劑相當多。利用支架栽培之菜豆，亦可定向噴施非選擇性藥劑，防除低矮之雜草。水田後作不整地之豌豆栽培，可使用非選擇性藥劑配合萌前除草劑使用，以防治田面已萌發之雜草。(5)茄科蔬菜如番茄、甜椒及茄子，有數種可使用之萌前除草劑。植株較高之作物也可利用接觸性非選擇除草劑防治低矮之雜草。由於此類作物生長期長且多採畦面覆蓋栽培，生育期間，人工除草及補施除草劑都難以進行，所以畦面覆蓋或定植前可配合使用土壤殘效較長之藥劑。(6)撒播之小葉菜類如莧菜、空心菜、青江白菜、萵苣及菠菜等，雜草對此類蔬菜之品質、整齊度及採收後處理之干擾相當大。由於栽植密度高，植株間距太小，難以利用機械除草。很多此類蔬菜對除草劑相當敏感，且生長期短，受藥害之植株不易恢復。由於缺乏可利用而有效之雜草防除法，平時應避免雜草開花結子，維持田間低密度雜草，雜草密度高之田區不宜栽植此類蔬菜。此外水生蔬菜如茭白筍、蓮藕及芋頭等，其菜田與旱生菜田環境並不相同，危害的雜草也多為水生及濕生雜草，所以除草劑也應適合有水條件，但此類蔬菜目前尚無登記藥劑可用。

六、蔬菜田雜草防除之方法

(一)預防性防除(preventive weed control)

乃於雜草未發生前，對可能潛在之危害雜草進行管理，防止雜草種子或營養繁殖體透過自然及人為散播。如田間發現不易防治的雜草四生臂形草、竹節草及狗牙根等，發現後應立即拔除，避免其擴大危害。此外在雜草危害嚴重田區，種植前可先讓雜草萌芽後，先進行雜草防除工作，再種植蔬菜，可有效降低雜草發生密度，節省很多管理上的困擾。

(二)人工除草(hand weeding)

過去蔬菜田雜草之管理，一般以手拔、鏟子、鐮刀及鋤頭等工具進行人力除草。人工除草具高度選擇性，可以用於防除各種已萌芽之雜草，但其效率低，且所投入之人工勞動成本相當高，對經營面積小且有剩餘勞力者尚可勉強進行，但不適合於大面積經濟生產。但此法在任何作物及各種環境下皆可使用，且技術要求不高，不需事先訓練，使用相當方便難以被完全取代，常用於高價的鮮食瓜果類蔬菜。

(三)機械中耕除草(tillage)

中耕除草適用於各種條播作物(row crops)，其乃利用畜力或機械動力，將田面雜草翻埋入土或鬆動，以達除草目的，中耕還可提高土壤通透性、雨水穿透性及增加土溫，但要注意土壤流失、根部傷害及土底雜草種子因中耕裸露萌芽問題。中耕最好的時間在作物生長初期，如葫蘆科作物(cucurbit crops)中耕只能用於藤蔓尚未伸展時。土壤濕度決定中耕是否成功，如果土壤過濕，中耕的機具將使土壤更加密實，有利雜草重新生長。過乾則中耕土壤成塊，不利雜草控制。在乾燥地區，菜豆種植前可先行灌溉，待表土乾燥後，中耕土表形成土膜，再將菜豆種子種入。由於底土仍保持濕潤，菜豆可繼續萌芽生長，表土因乾燥可減少一年生雜草危害。

(四)機械割草(mowing)

利用剪草機切斷雜草之一部，使雜草維持一定高度，以減少雜草與作物之競爭，此方法並無法真正殺死雜草。目前以果樹及觀賞樹木使用最普遍，但應用於蔬菜以多年生條播作物為主，如朝鮮薊、蘆筍及大黃(Smith 1995)。割草之好處在於雜草減除後，土表仍有相當之地面覆被，可防土壤流失。

(五)覆蓋

覆蓋即利用各種有機物如作物殘體或無機的塑膠布等覆蓋田面，使田面因遮光而抑制雜草萌芽生長。此外，覆蓋具有防止土壤沖刷、保濕及調節土壤溫度等功能。一般塑膠類覆蓋資材以不透光者效果較好，但對多年生匍伏性雜草防除效果不佳，因此類雜草會穿透膠膜，光線透過膠膜使其它雜草更易生長。有機覆蓋資材主要以作物殘體為主，如稻稈、稻殼、蔗渣等，雖然使用上較為環保，但其體積過大，在大面積栽培時需要相當的人力。利用覆蓋作物(cover crops)之栽培可減少此類覆蓋所需人工，作法上乃先將覆蓋作物種植，利用覆蓋作物自然死亡、割草或除草劑，使其殘體形成良好的覆蓋面。此外根部分泌相剋化合物(allelochemical)，亦可能是覆蓋作物抑制雜草生育的主因，冬裸麥(winter rye)收成後，90%的雜草被抑制達 60 天之久(Smith 1995)。覆蓋作物之栽培，主要用於移植作物(transplant crops)，如番茄、甜椒、南瓜、胡瓜等及直播大粒種子蔬菜作物。

(六)栽培管理(cultural practices)

利用作物栽培管理防除雜草，其基本原則乃利用各種栽培法協助蔬菜建立更強的生育競爭，以達防除雜草之目的，如種植作物的選擇，在雜草危害嚴

重的田區，就儘量不要種植萌芽及生育速度緩慢的作物。部份作物如葫蘆科作物或香菜同一田區，常年種植，往往造成連作障害，作物生育不佳減少對雜草的競爭，利用輪作，則可減少連作所造成的各種問題。利用水旱田輪作，亦可減少香附子等旱生雜草所造成的危害。此外，如縮短行株距，適時種植及適當的施肥及病蟲害防治都有利作物地上部的快速形成良好遮蔽，降低雜草的競爭。

(七)化學防治(chemical controls)

蔬菜田化學防除包含除草劑及土壤燻蒸劑(fumigants)，土壤燻蒸劑可用於土壤病原菌及雜草的控制，最被廣用的土壤燻蒸劑為溴化甲烷(methyl bromide)由於使用後會破壞臭氧層，目前已逐漸被淘汰。現有土壤燻蒸劑如邁隆(dazomet)及斯美地(metham-sodium)可供使用。除草劑為合成的化學物質，透過抑制雜草生長所需的生化過程，達到控制雜草生長的目的。依其作用方式分類可分成選擇性(selective)及非選擇性(nonselective)，選擇性除草劑可根據其所標示之施用作物進行噴施，而無任何傷害。非選擇性除草劑則對作物無選擇性，因此施用時最好避開作物，可配合定向噴頭或藥罩使用。

由於蔬菜種類繁多形態各異，加以栽培方式複雜，輪作頻繁，因此利用單一種雜草防除法，已難有效管理雜草。加以現行管理對除草劑高度依賴，對環境之傷害廣被重視，因此雜草綜合管理也應運而生，雜草綜合管理主要透過：(1)監測(scouting)，(2)預防(prevention)，(3)栽培管理，(4)機械除草， (5)化學除草及(6)生物除草等方法的整合，來管理蔬菜田雜草 (Milton and Mcgiffen 1997)。過去雜草的管理只注意當期作田間雜草管理，但雜草綜合防除則將監測與預防列為一般例行性工作。所謂監測乃進行田間雜草種類、數量、發生高峰的記錄，作為田間長期雜草管理的重要依據。預防在於防止雜草的擴散，配合監測，在發現外來種或多年生雜草入侵時，最好的方法乃是先行將此物種拔除，已免將來危害。此外灌溉水、動物、農業機具、作物種子、堆肥等，都會傳播雜草種子，應注意其清潔度。

七、臺灣蔬菜除草劑發展與應用

臺灣傳統的菜園除草，向以人工除草為主，由於選擇性高，可用於各種已萌雜草之防除，但效率甚低，不利於大規模之經濟生產。以畦面覆蓋稻草或塑膠布，雖不失為一種良好之除草方法，但通常無法完全防止雜草之發生，且只能應用於某些特定作物，因此需輔以人工或藥劑之除草。隨著除草劑之不斷發展，現今化學除草法已被廣泛應用。台灣蔬菜作物除草劑之起步較農藝作物為遲，直到 1968 年才第一次正式將除草劑理有龍正式登記於蘆筍田(表 4)，1973 年則有 10 種藥劑被登記於 9 種作物，分別為胡蘿蔔、洋蔥、菠菜、花椰菜、大蒜、甘藍、結球白菜、番茄及蘆筍。1984 年則有 16 種藥劑被登記於 12 種作物，新增番椒、蘿蔔及胡瓜，同年護谷(TOK)因會造成胎兒畸形被禁用，31.7%之施得圃(pendimethalin)則濃度改為 34%。1986

年則增加豌豆及西瓜，使作物增加為 14 種，推薦藥劑 17 種，登記方法 38 種。1987 年可說是除草劑引入台灣變動幅度最大的一年，共有加速汰(acephonone)、滅落脫 (napropamide)、雷蒙得 (propachlor)、貝殺靈(fluchloralin)、大克草(DCPA)、克乃達(TCA)、禾爾邦(norea)及滅殺草(nitralin)等 8 種藥劑停止登記，使登記藥劑僅剩 10 種，登記方法 27 種。1992 年濃度 35%之伏寄圃(fluazifopbutyl)停止登記，改為濃度 17.5%之伏寄圃。2002 年增加汰草滅(dimethenamide)應用於甘藍栽培。2004 年施得圃(pendimethalin)被推薦於毛豆，同年滅蘇民(aziprotryne)停止登記。截至 2004 年止，歷年來共 29 種除草藥劑被登記於蔬菜田，扣除先前被禁用及停止登記之 10 種除草劑。

目前可合法使用於蔬菜田之除草劑有拉草(alachlor)、丁基拉草(butachlor)、大芬滅(diphenamid)、納得爛(naptalum)、滅草胺(metazachlor)、滅落脫(napropamide)、伏寄圃(fluazifopbutyl)、甲基合氯氟(haloxyfopmethyl)、快伏草(quizalofopethyl)、普拔草(propaquizafop)、三福林(trifluralin)、比達寧(butralin)、施得圃(pendimethalin)、理有龍(linuron)、復祿芬(oxyfluoren)、汰

表 4. 歷年來除草劑在台灣使用之概況(摘自植物保護手冊 1973-2002 年版，2004 年資料引用農藥毒物試驗所網站資料)。

年代	作物種類	登記藥劑	禁用及除名之登記藥劑	登記方法	備註
1968	蘆筍	理有龍 (liuron)	-	-	使用近三十年之除草劑
1973	9 胡蘿蔔、洋蔥、菠 菜、花椰菜、大蒜、甘藍、結球白菜、番茄、蘆筍	10	None	17	1.理有龍 2.丁基拉草 3.拉草 4.三福林
1984	12 番椒、蘿蔔、胡瓜	16	護谷(nitrofen) 31.7%施得圃 (pendimethalin)	34	
1986	14 豌豆、西瓜	17	None	38	
1987	12 胡蘿蔔、番椒	10	加速汰(acephonone)、滅落脫(napropamide)、雷蒙得(propachlor)、貝殺靈(fluchloralin)、大克草(DCPA)、克乃達(TCA)、禾爾邦(norea)、滅殺草(fitralin)	27	
1992	12	15	35%伏寄普 (fluazifopbutyl)	31	
2000	13 甜椒	19		38	
2004	14 毛豆	19	滅蘇民 (aziprotryne)	39	

草滅 (dimethenamide)、畢克草 (clopyralid)、固殺草 (glufosinate-ammonium)、環殺草(cycloxydim)等 19 種，登記於 14 種作物上。其中理有龍、拉草、丁基拉草及三福林的使用都有近 30 年的歷史。個別作物的登記在甘藍有 10 種，西瓜 5 種，番茄 4 種，大蒜 3 種，洋蔥 2 種，結球白菜、蘿蔔、花椰菜、蘆筍、菠菜、豌豆、胡瓜、甜椒及毛豆各 1 種。為數 41 種之經濟栽培蔬菜，多數尚無任何登記除草劑可用，是推廣正規及合法防除上，極待改進及加強的部份。在除草劑防除對象方面，目前登記之除草劑共可防治 11 科 19 種之闊葉類雜草及 2 科共 11 種之尖葉類雜草(表 5)。舉凡蔬菜田春秋作皆危害嚴重之馬齒莧、牛筋草、野莧、鱧腸、藿香薊、碎米莎草及平地夏季常見之山芥菜、鵝兒腸、龍葵、通泉草、小葉灰藋等，皆可有效防除。

表 5. 目前蔬菜園登記除草劑可防除之雜草種類(摘自植物保護手冊，1973-2002 年版)。

闊葉類雜草			尖葉類雜草		
科別	中名	學名	科別	中名	學名
菊科	鱧腸	*Eclipta prostrata*	禾本科	牛筋草	*Eleusine indica*
(*Compositae*)	霍香薊	*Ageratum conyzoides*	(*Graminaceae*)	馬唐	*Digitaria adscendens*
	鬼針草	*Bidens bipinnata.*		芒稷	*Echinochloa colona*
	石胡荽	*Centipeda minima*		稗草	*Echinochloa crusgalli*
	鼠麴草	*Gnaphalium affine*		自生稻	
莧科	野莧	*Amaranthus viridis*		絹毛馬唐	*Digitaria sericea*
(*Amaranthaceae*)	節節花	*Alternanthera*		升馬唐	*Digitaria adscendens*
	滿天星	*nodiflora*		小指草	*Digitaria radicosa*
	刺莧	*Alternanthera sessilis*		雙穗雀稗	*Paspalum distichum*
		Amaranthus spinosus		鋪地黍	*Panicum repens*
茄科	龍葵	*Solanum nigrum*			
(*Solanaceae*)	苦織草	*Physalis angulata*			
馬齒莧科 (*Portulacaceae*)	馬齒莧	*Portulaca oleracea*	莎草科 (*Cyperaceae*)	碎米莎草	Cyperus iria
藜科 (*Chenopodiaceae*)	小葉灰藋	*Chenopodium ficifolium*			
石竹科 (*Caryophyllaceae*)	鵝兒腸	*Stellaria aquatica*			
茜草科 (*Rubiaceae*)	珠仔草	*Hedyotis diffusa*			
旋花科 (*Convolvulaceae*)	牽牛花	*Ipomoea obscura*			
十字花科 (*Curciferae*)	山芥菜	*Rorippa atrovirens*			
蓼科(*Polygonaceae*)	旱辣蓼	*Polygonum lapathifolium*			
玄參科 (*Scrophulariaceae*)	通泉草	*Mazus japonicus*			
防除種類	11 科 19 種.		防除種類	2 科 11 種	

目前登記在蔬菜田的除草劑依化學結構可分成八大類(表 6)：(1)醯胺(amides)其作用主要抑制植物細胞分裂。(2)芳羥氧苯氧羧酸(aryloxyphenoxy carboxylic acids)其作用抑制脂肪之合成。(3)二硝基苯胺(dinitroanilines)抑制細胞中微管及紡錘體之形成，阻礙細胞分裂。(4)尿素(ureas)抑制光合作用。(5)聯苯醚(diphenylethers)抑制葉綠素形成過程之酵素。(6)啶核酸(picolinic acid)干擾植株體內荷爾蒙平衡。(7)有機磷(organic phosphorus)抑制酵素導致氨之產生。及(8)環已烯氧(cyclohexanedione)抑制脂肪之合成(邱及鍾 1996)。各藥劑之化學及物理性質有極大之差異，在作用機制及使用上亦有不同。一般除草劑之施用視藥劑之種類、特性、作物別及栽培方法之不同而有不同之噴藥適期。除草劑如依噴藥之時期，則可分為植前噴藥，萌前噴藥及萌後噴藥。植前噴藥乃為減少或避免作物之藥害產生，亦常在種植作物前先行噴施除草劑，然後再種植作物。此類除草劑需選藥效長者，才能有效控制雜草。使用藥劑如比達寧(表 7)用於西瓜及汰草滅用於甘藍。萌前噴藥，即在作物種植後，作物未萌發前

表 6. 臺灣蔬菜園登記之除草劑(摘自植物保護手冊，1973-2002 年版，2004 年資料引用農藥毒物試驗所網站資料)。

類別	中文普通名稱	英文普通名稱	登記作物
醯胺 (Amides)	拉草	Alachlor	甘藍、番茄、花椰菜
	丁基拉草	Butachlor	菠菜
	大芬滅	Diphenamid	甘藍、番茄
	納得爛	Naptalum	胡瓜
	滅草胺	Metazachlor	甘藍
	滅落脫	Napropamide	甘藍
	汰草滅	Dimethenamid	甘藍
芳羥氧苯氧羧酸 (Aryloxyphenoxy carboxylic acids)	伏寄普	Fluazifopbutyl	大蒜、洋蔥、番茄、甘藍、西瓜
	甲基合氯氟	Haloxyfopmethyl	甘藍
	快伏草	Quizalofopethyl	西瓜
	普拔草	Propaquizafop	甜椒
二硝基苯胺 (Dinitroanilines)	三福林	Trifluralin	甘藍、結球白菜
	比達寧	Butralin	西瓜
	施得圃	Pendimethalin	大蒜、洋蔥、甘藍、番茄、蘿蔔、豌豆、毛豆
尿素(Ureas)	理有龍	Linuron	蘆筍
聯苯醚(Diphenylethers)	復祿芬	Oxyfluoren	甘藍、大蒜
啶核酸(Picolinic acid)	畢克草	Clopyralid	甘藍
有機磷(Organic phosphorus)	固殺草	Glufosinate-ammonium	西瓜、胡瓜
環已烯氧(Cyclohexanedione)	環殺草	Cycloxydim	西瓜

表 7. 不同噴施時期除草劑及其防除對象(摘自植物保護手冊，1973-2002 年版，2004 年資料引用農藥毒物試驗所網站資料)。

防除對象	植前		萌前		萌後	
	種類	登記藥劑	種類	登記藥劑	種類	登記藥劑
闊葉雜草 (Broadleaf weeds)	0	－	4	滅草胺、大芬滅、拉草、三福林	2	固殺草、畢克草
闊葉及尖葉雜草 (Broadleaf and Grass weeds)	2	比達寧、汰草滅	6	理有龍、滅落脫、丁基拉草、納得爛、復祿芬、施得圃	0	－
尖葉雜草 (Grass weeds)	0	－	0	－	5	伏寄普、快伏草、普拔草、環殺草、甲基合氯氟
總計(Total)	2		10		7	

或作物種植後雜草未萌發以前，將藥劑均勻噴施於畦面，藉以抑制雜草萌芽生長。大部分蔬菜使用之除草劑屬萌前除草劑，因一般蔬菜作物生長期較短，生育初期雜草的防除最為重要，尤其是利用種子播種者，如豆類蔬菜、撒播小葉菜、胡蘿蔔等。

一般雜草防除效果以萌前處理最佳，不但可有較長之控制時期，同時可減少作物幼苗期競爭，而影響發育。但因大部分蔬菜種子細小(豆類蔬菜除外)，種植深度很淺或僅在表土附近稍微覆土，如種子直接接觸藥劑或因藥劑滲透容易發生藥害。因此，必須使用對特定蔬菜作物選擇性較高之藥劑，方能避免蔬菜產生藥害。對於十字花科如甘藍、白菜等需育苗種植者，移植後噴藥時盡量避免噴及植株，以免造成藥害。屬於萌前除草劑有滅草胺、大芬滅、拉草及三福林用於闊葉雜草之防除，理有龍、滅落脫、丁基拉草、納得爛、復祿芬、施得圃則可防除闊葉及尖葉類雜草。一般作物植前及萌前除草劑，多屬土壤處理劑，主要透過雜草的幼根和幼芽吸收而產生效果，抑制雜草生長。這類藥劑必須在雨後或澆水後噴施，即土壤含水量在 20-30% 時，效果較佳；此外噴藥後要保持土壤藥膜，避免踐踏。萌後噴藥是在作物及雜草均已萌芽出土，將藥劑全面或行定向噴施，藉以控制已萌發之雜草。在萌後選擇性除草劑方面，依其特定防除對象雜草形態，又可分為尖葉類及闊葉類除草劑，如伏寄普、快伏草、普拔草、環殺草、甲基合氯氟等屬於萌後選擇性尖葉草除草劑，固殺草、畢克草則屬非選擇性闊葉雜草除草劑。但在使用上必需定向噴施，避開作物以免藥害。畢克草則對十字花科植物無藥害反應，因此可以用於甘藍、小白菜、蘿蔔等十字花科作物，然目前市面已難購得。

八、美國蔬菜田雜草化學防除

(一)甘藍類作物(cole crops)

甘藍類作物包含青花菜、花椰菜、

抱子甘藍及甘藍，其對除草劑的反應基本上相同，甘藍類作物可直播或移植栽培。一般而言，移植苗比較耐除草劑。登記藥劑中復氯芬(oxyfluorfen)僅被用於移植苗，種植前噴施畦面，其餘藥劑可用於植播苗或移植苗。三福林(trifluralin)及 bensulide 行植前拌土處理，可防除一年生雜草，拌土深度為 3-5 公分，施藥處理後需保持土壤濕潤，以確保除草效果。Bensulide 的殘效期極長，需注意慎選後期作物，以免殘留藥劑影響後期作物的生長。這類蔬菜移植時要儘量減少土壤的擾動，以使藥劑效果更佳。除草寧(DCPA)及滅落脫(napropamide)主要用於蔬菜及雜草萌芽前，西殺草(sethoxydim)用於植後禾本類雜草的防除，嘉磷塞(glyphosate)及巴拉刈(paraquat)用於植前畦面的除草。

(二)胡蘆科作物(cucurbit family)

包括胡瓜、西瓜、甜瓜、南瓜及夏南瓜，這類蔬菜主要生長於溫暖的夏季，因此雜草多屬一年生雜草。胡蘆科作物對除草劑的耐受性非常敏感，不同的作物及品種具有不同的耐受性，因此要注意登記方法說明，以避免藥害。胡瓜、西瓜及甜瓜可用 bensulide 植前拌土處理。南瓜(pumpkin)則以可滅蹤(clomazone)植前拌土處理。克欄本(chloramben)則可做為胡蘆科種物萌前除草劑。鈉得爛(naptalam)、DCPA、trifluralin 及 sethoxydim 則作為萌後除草劑使用，naptalam 於種植後籐蔓生長前施用，trifluralin 則於胡瓜、西瓜及甜瓜 3-5 葉時施用，DCPA 於洋香瓜及西瓜真葉 4-5 片時施用，對已萌雜草無效。此類作物種植常配合塑膠膜覆蓋，因此覆膜前，可配合萌前除草劑之施用，以減少畦間及覆膜植洞雜草生長。

(三)萵苣及小葉菜類(lettuce and greens)

萵苣為冷涼季作物，由於這類作物易與一年生雜草混生，因此雜草的管理除覆膜外，利用土壤燻蒸劑進行除草也是相當的有效，種植前可先行以 paraquat 及 glyphosate 進行清園。Benefin、bensulide 及 pronamide 主要用於植前拌土處理，以控制一年生雜草。Pronamide 也可用於萌前或萌後雜草控制，pronamide 對十字花科蕓苔屬雜草控制十分有效，特別是大薺菜(sepherdspurse)。Sethoxydime 則可用於萌後，以防除一年生或多年生尖葉草。小葉菜包含羽衣芥藍、芥菜、蕪菁及菠菜，這類蔬菜對除草劑的忍受性相似。但除菠菜外，其他小葉菜同屬十字花科蕓苔屬，因此在除草劑的反應稍有不同，paraquat 及 glyphosate 主要用於清園。蕓苔屬小葉菜以 trifluralin 用於植前拌土，DCPA 則用於萌前處理。菠菜以 cycloate 進行植前拌土處理時，處理深度 5-8 公分，或以 chloropropham 及 diethatyl 進行萌前處理。萌後藥劑則有 phenmedipham、sethoxydim 及伏寄普(fluazifop)。

(四)茄果作物(solanaceous crops)

茄果類蔬菜通常指茄子、辣椒及番茄，這三種作物對除草劑之忍受性相當一致。茄子一般多採用先育苗後定植方式種植，glyphosate 及 paraquat 被用於茄子定植前，napropamide 用於植前拌土及萌前，DCPA 亦用於萌前。甜椒可採直播方式種植，直播後甜椒萌芽前利用

glyphosate 及 paraquat 清除畦面雜草。DCPA、bensulide 及 hapropamide 可當直播苗萌前除草劑。移植苗則以 trifluralin、bensulide 及 napropamide 植前拌土施用。番茄可行直播或移植栽培兩種方式，直播栽培疏苗的同時，亦可並行人工除草作業。但間拔過遲，雜草的競爭作用可能已影響到番茄幼苗的生育，故人工除草宜早期實施愈有利。直播栽培番茄常用的除草劑有 bensulide、napropamide 等，行萌前處理以防除一年生雜草，乾旱地區需配合拌土作業，以確保藥效。移植苗以 bensulide、napropamide、滅必淨(metribuzin)、trifluralin 及 pebulate 萌前拌土作業的除草效果，亦相當的不錯。Chloramben 則用於移植苗的萌前除草劑；pebulate 常能抑制包括香附子在內的許多莎草科雜草的生育；metribuzin 用於萌後，番茄要定植兩星期以上，且植株重新生長時才可施用。

(五)豌豆及豆類(peas and beans)

豌豆適合栽培於低溫期，田間發生雜草以冬季低溫期的雜草為主。EPTC、diallate、triallate、trifluralin、clomazone、propham 及莫多草(metolachlor)主要用於植前土壤拌土用。Oryzalin、propachlor、拉草(alachlor)及 metolachlor 為萌前除草劑，本達隆(bentazon)、MCPA、MCPB、dalapon、diclofop 及 sethoxydim 主要作為萌後除草劑。MCPA 於豌豆生長 10-15 公分施用，MCPB 則於萌芽後到開花前 3 節都可施用。豌豆品種間對除草劑的反應，有極大的變異存在，且受外界環境的影響極大，在選用除草劑時，得列入考慮。豆類包含萊豆、蠶豆、豇豆及菜豆等，由於豆類植株萌芽快生長迅速，因此對雜草競爭具相當忍受性。三福林(trifluralin)、施得圃(pendimethalin)、EPTC 及 ethalfluralin 等多種除草劑，行植前拌土處理，trifluralin 行萌前拌土處理，如與 EPTC 混合施用更能擴大除草的範圍。得拉本(dalapon)在種植前 4-5 星期處理，能防除許多禾本科的雜草，包括一些多年生禾本科的雜草在內。Chlorpropham 為常用的豆類除草劑，萌前處理可殺大部分的禾本科雜草及一些闊葉草，唯作物種子的播種深度需在 3 公分以下，以免與分佈於表土上層的除草劑接觸，危害萌芽中的作物幼苗。chloramben 可在萊豆種植時，行萌前處理，以防除一年生雜草，其他萌前處理劑有 DCPA、alachlor 以及 metolachlor。Bentazon 及 sethoxydim 行萌後處理，使用時加入 1%的作物油(crop oil)可增加藥劑活性。

(六)胡蘿蔔類(carrot family)

胡蘿蔔類作物包含有胡蘿蔔、芹菜、小茴香、香芹菜及美國防風，此類作物登記藥劑不多。石油溶劑(petroleum solvents)可用於所有這類作物萌後使用，使用時為避免產生類似煤油味(kerosene-like flavors)的胡蘿蔔及傷害植株，其施用最佳期為田間雜草 5 公分以下。胡蘿蔔根徑低於 0.6 公分及 2 片葉片長出後，當溫度高於 29℃及溼度過高應避免使用。Trifluralin 和 liuron 可於胡蘿蔔及芹菜栽培前，行植前或萌前拌土處理，可防除大部分的一年生雜草。Liuron 亦可用於美國防風。Metribuzin 為胡蘿蔔萌後除草劑，施用時期為生育後 5-6 片葉片及雜草 2 公分以下。Prometryn

用於芹菜萌前及萌後除草劑以控制一年生雜草。Glyphosate 及 paraquat 主要用於植前清園。Linuron 用於萌後，處理的適期為胡蘿蔔株高超過 8 公分，芹菜以不超過 20 公分，而雜草株高不超過 15 公分為宜。

(七)蔥類作物(allium crops)

蔥類作物包含洋蔥、大蒜、青蔥及韭菜，這類作物萌芽及生育緩慢，加上其葉片直立，無法形成足夠的遮蔽，因此雜草管理相當重要。大蒜及洋蔥推薦藥劑兩者大致相同，除 oxyfluorefen 於大蒜無登記外，其餘皆相同。Glyphosate 及 paraquat 可用於萌前除草，oxyfluorefen 用於洋蔥可控制一年生多數闊葉雜草，施用時洋蔥至少應有二片真葉以上，以免藥害。Sethoxydim 及剋草同(clethodim)主要用於一年生尖葉雜草控制。DCPA 及 pendimethalin 主要用於萌前除草，DCPA 在正常使用時，並不會造成植株傷害。但種植於砂質壤土之洋蔥，過高濃度之使用常使植株生育受阻。Bensulide 可植前拌土或萌前土表施用，以防除一些禾本科雜草或闊葉性雜草，本劑的土壤殘效性甚長，可達一年以上。在分蔥、青蔥及韭蔥，glyphosate 被用於植前清園使用，sethoxydim 用於萌後除草。

(八)蘆筍(asparagus)

蘆筍為多年生作物，栽培時多利用種子播種，產生根盤苗再移植田間。因此雜草管理依作物生長分為 3 個階段，分別為根盤苗生產圃、剛種新園及種植多年老園。Glyphosate 及 paraquate 可用於根盤生產圃及剛種新園之清園。Fluazifop 及 sethoxydim 可用於萌後，蘆筍產期間切不可使用 sethoxydim 控制田間尖葉雜草。Napropamide、simazine、diuron、terbacil 及 metribuzin 則於蘆筍休眠時及該季採收後才能使用。2,4-D 用於闊葉雜草，嫩莖萌芽時不可使用，每生產季只能使用 2 次，並避免噴及植株。Dalapon 及 dicamba 則用於老園之萌後處理，dalapon 可用於最後採收，清園前之禾本科雜草控則，但仍應避免噴及植株。

(九)甜玉米(sweet corn)

甜玉米對殺草劑之敏感度較一般玉米敏感，草脫淨(atrazine)可用於植前拌土、萌前及萌後除草，雜草萌後早期與 metolachor 混合可提高對禾木草的防除效果。但下期作不可種植蔬菜作物以免藥效殘留發生藥害，下期作以玉米及高粱為限。Bentazon 及 glyphosate 用於萌後噴施，glyphosate 以點狀施用為主，噴及植株會造成嚴重傷害。Paraquat 及 pendimethalin 以植後萌前噴施為主。

(十)馬鈴薯(potatoes)

馬鈴薯為重要的蔬菜，如同穀類馬鈴薯亦可作為糧食作物。目前大多數的栽培者，都以雜草綜合管理法進行雜草管理，DCPA、glyphosate 及 paraquat 可用於植前或馬鈴薯萌芽前，並配合中耕的應用，如此可防除多數的一年生雜草。Pendimethalin、linuron、ETPC、metribuzin 及 metolachor 可用於萌前使用。Metolachlor 可和 metribuzin 混合使用，metribuzin 亦可用於萌後除草，但採收前 60 天不可使用。EPTC 及 trifluralin 可於植前拌土使用，但 EPTC 每公頃每年使用量不可超過 3.3 公升，EPTC 亦可

用於休耕前(layby)噴施。

以上資料根據美國(Branden berger and Sauls 2000)及(Monaco *et al.* 2002)除草劑登記資料(表 8)整理所得，用於各種主要蔬菜作物的化學除草，由於台灣的氣候與土壤條件與美國不盡相同，加以並未經過政府單位登記使用，因此並不建議比照使用。

表 8. 美國目前登記於蔬菜之除草劑(摘自 Brandenberger and Sauls 2000, Monaco *et al.* 2002)。

作物別		登記除草劑 Herbicide
中文	英文	
蘆筍	Asparagus	2,4-D, paraquat, diuron, metribuzin, sethoxydim, glyphosate, liuron, napropamide, fluzifop, terbacil, dalapon, dicamba, norflurazon, chloramben, trifluralin
豌豆	Peas	bentazon, netolachor, EPTC, paraquat, sethoxydim,MCPB, MCPA,triallate,glyphosate,trifluralin,oryzalin, clomazone, diclofop,dalopon,diallate ,propham
菜豆	Beans	bentazon, metolachor, sethoxydim, glyphosate, DCPA,ETPC, trifluralin,dalapon,alachlor, chloropropham, pendimethalin, chloramben,,ethalfluralin
胡瓜	Cucumber	naptalam, paraquat, sethoxydim, glyphosate, trifluralin , chloramben, DCPA, bensulide
南瓜	Pumpkins	clomazone, paraquat, sethoxydim, bensulide, glyphosate, chloramben
甜瓜	Cantaloupe	naptalam, sethoxydim, bensulide, glyphosate, trifluralin, chloramben, DCPA, paraquat
西瓜	Watermelons	naptalam,sethoxydim, bensulide, glyphosate, trifluralin , DCPA, paraquat
夏南瓜	Squash	clomazone, paraquat, sethoxydim, bensulide, glyphosate, napropamide, bensulide, chloramben, DCPA
甘藍類作物	Cole Crops	oxyfluoren, paraquat, sethoxydim, bensulide, glyphosate, trifluralin,napropamide, DCPA,
胡蘿蔔	Carrots	paraquat, metribuzin, linuron, sethoxydim, glyphosate, trifluralin, fluazifop, petroleum, solvents
芹菜	Celery	sethoxydim, glyphosate, trfluralin,prometryn, metribuzin, linuron
洋蔥	Onions	bromoxynil, DCPA,oxyfluoren, sethoxydim, pendimethalin, glyphosate, trifluralin, paraquat
大蒜	Garlic	bromoxynil, paraquat, sethoxydim, pendimethalin, glyphosate, fluazifop
小葉菜類	Greens	DCPA, paraquat, sethoxydim, glyphosate, trfluralin, ,DCPA, bensulide
菠菜	Spinach	sethoxydim, phenmedipham, chloropropham, glyphosate, fluazipfop,cycloate
萵苣	Lettuce	paraquat, pronamide, sethoxydim, bensulide, glyphosate, benefin
甜椒	Peppers	sethoxydim, bensulide, glyphosate, trifluralin, napropamide, chloramben, paraquat, DCPA
番茄	Tomatoes	DCPA, EPTC, paraquat, metribuzin, sethoxydim, glyphosate, pebulate, trifluralin, bensulide, napropamide, chloromben
茄子	Eggplant	DCPA, paraquat, sethoxydim, glyphosate, bensulide, napropamide
馬鈴薯	Potatoes	DCPA, metolachor, EPTC, paraquat, metribuzin, sethoxydim, pendimethalin, glyphosate, metribuzin, trifluralin, liuron
甜玉米	Sweet Corn	atrazime, bentazon, metolachor, 2,4-D, paraquat, pendimethalin, glyphosate

九、結語

由於蔬菜種類繁多，各別作物面積不大，加以栽培方法複雜，相較於水稻與玉米等糧食作物及大豆與油菜等油料作物和棉花等經濟作物，蔬菜田之化學除草起步較慢。多數之除草劑都以大宗作物為主要發展對象，而後在逐漸發展於蔬菜生產上之應用，但種類相當有限。以臺灣水稻田推薦除草劑有 94 種之多，但菜田推薦登記之除草劑僅 19 種，且經常可見也僅有施得圃、拉草、丁基拉草、理有龍、三福林、伏寄普及復祿芬等數種。加以多數蔬菜皆無推薦藥劑，故農民多憑其實際耕作經驗而自行購買除草劑使用，如以鏟乃安(dinitramine)用於小葉菜類雜草防治，也有以草脫淨(atrazine)及樂滅草(oxadization)使用於蒜田栽培初期，滅必淨(metribuzin)用於番茄田間雜草防治，將稻田除草劑使用於水生蔬菜如茭白筍、水芋及蓮藕等。這種為了防除雜草而將非推薦藥劑使用於作物，可能不知不覺中，將長殘留之藥劑應用於短期作的蔬菜上，造成農藥殘留的問題。此外蔬菜作物萌後闊葉類雜草，目前尚無法用選擇性除草劑加以防除，僅能消極於萌前及植前作好闊葉性雜草之防除工作。因此，未來蔬菜田闊葉性雜草萌後防除，將是未來研究及發展上最需要解決的問題。由於現代農業不僅強調生產，對生態環境的保護也越來越重視，因此低毒性與低劑量之除草劑與加強雜草綜合管理(IWM)應用，是未來蔬菜田除草劑發展的重點。

十、參考文獻

林正義 (1968) 台灣耕地之雜草(I)。台灣大學農學院編印。p.304-311。

沈國輝、楊烈、高文琦。2003。菜田、果園和茶園雜草化學防除。化學工業出版社。臺北市。

邱建中、鍾維榮。1996。殺草劑與雜草防除。中華民國雜草學會、臺中區農業改良場編印。p.177-194。

曾紹均、鍾維榮。1983。蔬菜作物雜草防除與發展。中華民國雜草學會會刊 4(1):66-75。

植物保護手冊。1973-1998。臺灣省政府農林廳農業藥物毒物試驗所編印。臺中縣霧峰鄉。

植物保護手冊。1990-2002。行政院農委會農業藥物毒物試驗所編印。臺中縣霧峰鄉。

農業統計年報。2003。行政院農業委員會編印。行政院農業委員會。臺北市。

蔣永正、呂理燊。1987。臺灣玉米田草相及雜草防治。中華民國雜草學會會刊 8(1):1-13。

蔣慕琰、徐玲明。1993。蔬菜田之雜草防治。p.283-298。蔬菜保護研討會專刊。行政院農委會農業藥物毒物試驗所編印。臺中縣霧峰鄉。

蔣慕琰、蔣永正。1983。臺灣旱雜草種類、生態及危害。中華民國雜草學會會刊 4(1):30-41。

蔣慕琰、蔣永正。2001。農田雜草管理及除草劑簡介。p.22-34。行政院農委會農業藥物毒物試驗所編印。臺中縣霧峰鄉。

徐玲明、蔣慕琰。1999。臺灣草坪雜草彩色圖鑑。農委會農業藥物毒物試驗所編印。臺中縣霧峰鄉。

鍾維榮。1984。殺草劑對蘿蔔生長及雜草

之影響。中國園藝 30(1):68-75。

鍾維榮、邱建中。1996。園藝作物田間雜草之危害及管理。p.265-285。除草劑安全使用及草類利用管理研討會專刊。中華民國雜草學會。臺中縣霧峰鄉。

蕭政弘、邱建中、鍾維榮。2003。臺灣蔬菜田除草劑之應用與發展。中華民國雜草學會會刊 24(2):99-113。

Albert, E.S. 1995. Handbook of weed management systems. p.555-563, p.177-194. *In*: Horticulture Crops. Marcel Dekker, New York.

Brandenberger L. and J. Sauls. 2000. Weed control in vegetable, fruit and nut crops. Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M university. Texas.

Chiang, Y.J. and L.S. Leu. 1987. Weeds in vegetable field and their control in Taiwan. p.29-46. *In*: Weeds and their control in vegetable production. Symposium in the 11th Conference. APWSS. Taipei. Taiwan.

Milton, E. and J. Mcgiffen. 1997. Weed management in horticultural crops. p.1-137. ASHS Press, New York.

Monaco, T.J., S.C. Weller and F.M. Ashton. 2002. Weed Science–Principles and Practices. p.449-483. John Wiley & Sons, INC., New York.

Smith, A.E. 1995. Handbook of weed management systems. p.553-562. Marcel Dekker, INC., New York.

Weaver, S. 1984. Critical period of weed competition in three vegetable crops in relation to management practices. Weed Res. 24:317-325.

William, R.D. and G. F. Warren. 1975. Competition between purple nutsedge and vegetables. Weed Sci. 23:317-323.

Zimdahl, R.L. 1999. Fundamentals of Weed Science. p.155-271. Academic Press Ltd., London.

第十四章　草坪之雜草管理

徐玲明
行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所公害防治組

一、前言

草坪的經營管理方式不同於一般作物田，在生長環境適合的條件下，許多匍伏性雜草也順勢而生；修剪亦會加速雜草的擴散。雜草與本草混合生長之情況下往往不能以人工挖、拔的方式清除，導致雜草覆蓋率大於草坪，也造成管理、及景觀上的問題。草坪中雜草的管理，預防功效大於防除；避免雜草種子大量的產生，防止以繁殖器官擴散的多年生雜草侵入，種植前，地點的選擇及管理方式，與日後草坪中雜草發生的數量有密切的關係。草坪雜草雖屬旱生草，但草坪於種植後多不再行耕犁、整地，故雖同屬旱地，但雜草之發生與果園等作物田有相當程度之差異。草坪中的雜草種類雖與一般農地類似，但受草坪的栽培方式與生長環境影響，所發生的雜草特徵為(1)匍伏性、耐低剪，(2)能快速的產生種子、開花結果部位接近地面，(3)對極端的環境忍受力高，例如耐濕－水蜈蚣，耐旱－長柄菊，(4)生長點低矮，(5)種子發芽率高，以及(6)與其他雜草有不同的生長適應期(Turgeon 1985, 徐及蔣 2003)；例如發生在夏季之牛筋草與冬季之早熟禾(Turgeon 1985, 徐及蔣 2003)。

二、草坪雜草的生理生態

(一)雜草的分布特性

草坪中的雜草主要以禾本科、菊科、莎草科及豆科的種數較多，大部份為生長點低矮，或匍伏生長的雜草。在亞熱帶的台灣，平地及低海拔地區月平均溫大約在 15℃以上，多數雜草之發芽與生長受溫度之限制不大，週年均可生長及開花，例如馬唐、牛筋草、短葉水蜈蚣、藿香薊、鱧腸、兔仔菜、繖花龍吐珠、酢醬草。喜冷涼氣候之雜草如小葉灰藋、小葉碎米薺、鼠麴舅、早熟禾、鵝兒腸等，則在秋冬季節萌芽翌年夏季時枯死。禾本科的兩耳草、雙穗雀稗，莎草科的香附子雖然全年都發生，但高溫下生長旺盛開花結實，為夏季優勢雜草。中南部每年十月後即進入長達半年之旱季，在沒有正常灌溉的草坪上，除了草坪草之黃化及生長緩慢外，不耐乾旱之雜草亦難以存活，長柄菊等耐旱草則依然生意盎然。喜好潮濕環境之莎草科雜草如短葉水蜈蚣、天胡荽，易發生在排水不良地區。雜草也有區域上的分布，最明顯的是一年生禾本科雜草如早熟禾，中北部於秋冬時大量發生，在南部卻少見(徐及蔣 1993)。

(二)雜草的繁殖及傳播

每種雜草產生種子的數量，因種類及所處的環境而異，可由數百粒至數萬粒不等。以營養器官行無性繁殖的雜

草，其營養繁殖體包括地下莖(短葉水蜈蚣)、根莖(匍地黍)、球莖(香附子)、鱗莖(紫花酢醬草)，有些散佈於表土，有些可深入底土達數十公分。地下莖及根莖切斷後，每節仍可長出一株新生幼苗。

雜草種子傳播方法有(1)果實裂開時之彈性，可將種子彈到較遠的地方，如黃花酢醬草；(2)果實富含養分，可供動物採食；如毛西番蓮漿果經鳥類食用後，種子隨排泄物而散至各地；(3)果實或種子具有翅或絨毛，容易隨風飄散；如昭和草的種子具冠毛，易為風吹散，倒地鈴及燈籠草的果實包覆於中空的氣囊，也可藉風力飄散；(4)果實上有刺鉤或黏液，可以附著在動物的身體上而加以傳播，例如竹節草、咸豐草；(5)果實組織疏鬆，比重小，可以浮於水面，藉水力漂流或雨水沖打傳播；(6)種子特別小，能像塵土一樣被風吹散；及(7)人為傳播：附著於栽培機具、衣服，或經由灌溉水、客土、舖砂、補植等方式將雜草由各地帶進草坪(Bingham 1995, Turgeon 1985, 原島德一 1994)。許多雜草能遠渡重洋分佈於全球各地，大多靠人為的運送，草坪中容易經由進口的種子或草塊中夾雜外來雜草，常延伸出生態、防疫及防治上之複雜問題。

(三)雜草的分類(黃 1994, 徐及蔣 2000a)

1. 依植物演化程度分類

(1) 蕨類：例如木賊科、瓶爾小草科。

(2) 雙子葉植物：例如爵床科、莧科、紫草科、桔梗科、山柑科、石竹科、藜科、菊科、旋花科、十字花科、大戟科、唇形科、豆科、桑科、柳葉菜科、酢醬草科、車前草科、蓼科、馬齒莧科、薔薇科、茜草科、玄參科、茄科、繖形科、堇菜科。

(3) 單子葉植物：例如天南星科、鴨跖草科、莎草科、禾本科、蘭科。

2.依生活史分類

(1) 一年生：從發芽到結實、老化、枯死等過程，在幾個月之內完成，此類植物大都仰賴種子繁殖，如稗草。

(i) 夏季一年生：在每年春季萌芽，夏季生長、開花、產生種子後，於翌年春天再萌芽，如野莧。

(ii) 冬季一年生：於秋、冬發芽生長，並於第二年晚春時期死亡，如小葉碎米薺。

在亞熱帶的台灣，夏生及冬生草的區分並不明顯，平地及低海拔地區如果土壤水分充足，多數一年生草可以在不同月份萌芽生長。

(2) 多年生：整個生活史在二年以上，除了產生種子之外，可行營養繁殖，因其營養器官的不同，又可分為以下三種。

(i) 簡單多年生：大都以種子繁殖為主，但營養器官切斷後亦有繁殖能力，如蓮子草、雷公根。

(ii) 球莖多年生：種子或球莖、塊根等地下營養器官皆有繁殖能力，如香附子。

(iii) 匍伏多年生：具有匍伏性的走莖及莖節長根、長芽的特性，如狗牙根、鋪地黍。

3.依除草劑防除觀點分類

可將雜草區分禾草、莎草及闊葉草等三類。禾草的主要特徵是莖具有節，莖稈的橫切面為圓形或扁圓形，如兩耳草、升馬唐、牛筋草、鋪地黍。莎草則

不具節，其莖稈的橫切面為三角形，如香附子、短葉水蜈蚣。這兩類雜草均具有長且窄的葉型及平行之葉脈，屬於種子萌芽後具有一片子葉之單子葉植物。闊葉草主要特徵是葉型寬闊，為網狀葉脈，屬於種子萌芽後具有二片子葉之雙子葉植物，如酢醬草、藿香薊、山地豆。

三、草坪雜草的種類

作者於全省各地球場、公園綠地之調查顯示，較常見之雜草種類超過 100 種。草坪中雜草相對覆蓋率在 6～60%之間，主要以禾本科、莎草科、菊科及豆科所含的種數較多，其中禾本科雜草相對覆蓋率高達 44%，其次為莎草科雜草(徐及蔣 1993, 1999)。

(一)禾草

1.一年生

(1) 龍爪茅 (*Dactyloctemium aegyptium* (L.) Beauv): 以種子繁殖，直立或匍伏狀，多分枝。葉片線形，葉緣及葉背被有軟毛，葉鞘扁平無毛，葉舌膜質，具纖毛。花序為穗狀花序 2~7 個呈指狀排列，一般為 4 個，穗狀花序粗短，小穗密集呈覆瓦狀排列，每一個小穗有 2~4 朵花。穎果球形，被皺紋。

(2) 馬唐 (*Digitaria adscendens* (H.K.B.) Henr.): 俗名糯米草、升馬唐、假馬唐等，一年生禾本科草，稈斜上或有些匍伏，以種子繁殖，種子量多，雨季來臨時可大量發生。

(3)芒稷 (*Echinochloa colona* (L.) Link.): 稈無毛，基部分枝，傾斜而上，稈基部呈紫紅色。葉線形，邊緣粗糙，無葉舌。圓錐花序，總狀枝在中軸上排列與其他相隔略遠。小穗長橢圓形，黃褐色。

(4)牛筋草 (*Eleusine indica* (L.) Gaertn.): 俗名牛信棕、牛頓草、蟋蟀草等，一年生草，根部強壯，莖叢生基部鮮白色，由 1 至數個指狀花序組成穗狀花序，可產生大量種子。

(5) 鯽魚草 (*Eragrostis amabilis* (L.) Wight *et* Arn.): 稈纖細，通常基部膝曲，光滑。葉線形，葉舌為一圈短毛。花序為長橢圓狀之圓錐花序。穎果褐色，細小，橢圓形。

(6) 早熟禾 (*Poa annua* L.): 稈叢生，柔軟葉細長，葉舌膜質。圓錐花序頂生，小穗呈卵形或長橢圓形，具白色綿毛。

2.多年生

(1) 四生臂形草 (*Brachiaria subquadripara* (Trin.) Hitchc.): 蔓生，無毛。稈纖細，在節處長根。葉光滑或覆有稀軟毛，邊緣粗糙，葉鞘大都比節間短，邊緣常具纖毛。葉舌具一排毛。總狀花序 3-6 枚，長於延長的主軸上。穎果橢圓形，米黃帶點紫色。

(2) 竹節草 (*Chrysopogon aciculatus* (Retz.) Trin.): 具根狀莖及匍伏莖蔓生，節間短，無毛。葉線形，先端鈍，葉舌短小。花稈直立，圓錐花序，紫色，成熟時變黑褐色，小穗淡紅色容易附著於人畜。

(3)白茅 (*Imperata cylindrica* (L.) Beauv. var. *major* (Ness) C.E. Hubb): 深根性，地下根莖在土中蔓延，甚為發

達，地下根莖黃白色，長而多節，稈叢生，直立。葉狹長，線形。花序為緊縮的圓錐花序如穗狀，為白色長絲狀毛所包圍，故名白茅。

(4) 毛穎雀稗 (*Paspalum conjugatum* Berg.): 俗名兩耳草、雙板刀、大板草等，多年生禾本科草，根莖呈匍伏狀蔓延，稈扁平幾近於實心，節處有軟毛，葉扁平，葉身比百慕達草寬，花成對著生，細長；以種子或根莖繁殖，生長速度快；被割草機剪下的莖節藉著機械或人四處擴散，可佔據大面積的草坪。

(5) 雙穗雀稗 (*Paspalum distichum* L.): 具根狀莖及長的匍伏莖。葉線狀披針形，葉鞘無毛，背部具脊，葉舌膜質。總狀花序，指狀排序，小穗橢圓形，成兩行排列一側，灰綠色。

(6) 匍地黍 (*Panicum repens* L.): 俗名枯骨草、硬骨草等，多年生禾本科草，葉片灰綠色，地下莖發達，稈直立近實心，圓錐花序展開，其種子大都不能發芽，主要的繁殖器官為地下莖配合鱗片葉，繁殖力旺盛，蔓延擴散速度快。

(7)鼠尾粟 (*Sporobolus elongatus* R. Br.): 叢生，葉線形細長，葉片質地較硬，平滑無毛，葉舌短毛狀。圓錐花序緊縮，甚長，如鼠尾巴，故名。花灰綠色，穎果成熟時紅褐色。

(二)莎草

1.一年生

(1) 扁穗莎草 (*Cyperus compressus* L.): 以種子繁殖。稈叢生，直立，呈三角形。葉線形，少數，葉鞘紅褐色，葉短於稈。苞片 3-5 枚，葉狀，長於花序。長側枝聚繖花序，具 1-7 輻射枝，長短不一，有時緊縮成頭狀，小穗長橢圓形，小堅果褐色，橫切面三角形。

(2) 碎米莎草 (*Cyperus iria* L.): 稈叢生，直立三角形。葉基生，短於稈，葉鞘紅褐色。苞片 3-5 枚，葉狀。長側枝聚繖花序，具 4-9 個輻射枝，小穗線形。小堅果倒卵形，黑褐色，橫切面三角形。

2.多年生

(1) 短葉水蜈蚣 (*Kyllinga brevifolia* Rottb.): 俗名土頭香、白香附、無頭香等，多年生的莎草科雜草，潮濕的地方發生特別多。葉根生、叢立，細長且色澤差異大。具細長的地下莖及多數莖節，每一節上長稈為頂生的單一圓頭狀花序，著生於莖頂。以種子或地下莖繁殖，尤其在強大的割草壓力下，特別容易產生種子，蔓延速度快、面積大。

(2) 香附子 (*Cyperus rotundus* L.): 俗名土香、臭頭香、有頭土香等，多年生的莎草科雜草，主要以地下塊莖繁殖。地下有細長匍伏根莖，地上莖直立，三角稜形。葉由莖之基部長，叢生，濃綠色，花序單立。

(三) 濶葉草

1.一年生

(1) 節節花 (*Alternanthera nodiflora* R. Br.): 莧科，以種子，莖節繁殖，莖匍伏，多分枝，通常在莖節上生根。葉對生，無柄或具短柄，線形至橢圓

狀披針形，鈍頭，全緣或具不明顯的波狀凸齒。花白色，球狀，長在葉腋，無柄，密生。果實為胞果，灰褐色，呈倒心狀腎形。

(2) 野莧 (*Amaranthus viridis* L.): 莧科，幾乎無毛的一年生草本。以種子，莖節繁殖，莖直立，無刺。葉互生，有長柄，卵形或三角狀廣卵形，先端鈍，全緣，略有波狀。花綠色著生頂端或腋生，伸長的穗狀花序。胞果球形表面具有明顯的皺紋，成熟後不開裂。種子扁球形，黑色，有光澤。

(3) 細纍子草 (*Bothriospermum zeylanicum* (J. Jacq.) Druce): 紫草科，草本，以種子繁殖，莖匍伏或斜上，分枝多，全株具短剛毛。葉互生，兩面皆粗糙，無柄或具短柄，長橢圓形或橢圓形，全緣。卷繖花序，腋生，具小花梗，花基具葉狀苞片。花冠淡藍色或粉白紫色。堅果小，橢圓形，灰褐色。

(4) 鵝兒腸 (*Stellaria aquatica* (L.) Scop.): 石竹科，草本，以種子繁殖，莖匍伏，稍帶紫色，柔軟多汁，具腺毛。葉對生，卵形，下位葉具長柄，上位葉幾無柄，葉緣波狀。花單一，腋生，白色花瓣 5，每瓣尖端呈 2 深裂。蒴果卵圓形，下垂。種子球形，紅棕色。

(5) 小葉灰藋 (*Chenopodium album* L.): 藜科，草本，以種子繁殖，莖具多數分枝。葉互生，葉柄細長，三角卵形，先端鈍，波狀鋸齒緣，葉背及嫩枝均具綠白色粉霜。花密集成團，形成圓錐花序，由頂端及葉腋著生，花灰綠色，無柄。果實胞果，扁圓形，種子黑色，盤狀。

(6)細竹蒿草 (*Murdannia simplex* (Vahl.) Brenan): 鴨跖草科，以種子繁殖。莖質柔軟，基部橫臥傾斜向上生長，平滑無毛。單葉，互生，披針形或線狀披針形，葉尖銳形，全緣，上下表面均光滑無毛。花數朵疏生，頂生，小型，花梗細長，花瓣 3 片，淡粉紅色。果實為蒴果，橢圓形。

(7) 紫花藿香薊 (*Ageratum houstonianum* Mill.): 菊科，以種子繁殖，莖直立，密生細毛。葉對生，有柄，葉基部為心臟形，邊緣有圓鋸齒狀。花紫色，頭狀花序，頂生。瘦果黑色，長圓柱形，具冠毛。植株及頭狀花皆比白花藿香薊稍大些。

(8) 咸豐草 (*Bidens pilosa* L.): 菊科，以種子繁殖，莖方形，直立，多分枝，莖節常呈淡紫色。葉對生，有柄，羽狀深裂，先端尖銳，粗鋸齒緣。頭狀花序著生於各枝梢，具長梗，不具舌狀花，中央管狀花黃色。瘦果黑褐色，線形，具逆刺，藉以附著人畜散佈種子。

(9) 大花咸豐草 (*Bidens pilosa* L. var. *radiata* (Bl.) Sherff): 菊科，以種子繁殖，莖方形，直立，多分枝，莖節常帶淡紫色。葉對生，有柄，羽狀全裂，頂端卵狀銳頭，粗鋸齒緣。頭狀花序頂生或腋生，外圍舌狀花白色，白色花瓣比小白花鬼針草大，中央管狀花黃色。瘦果黑褐色，線形，具逆刺。

(10) 石胡荽 (*Centipeda minima* (L.) A. Br. *et* Asch.): 菊科，以種子繁殖，莖多分枝，匍伏地面，節節生根。葉互生，倒披針形，前端具有粗鋸

齒緣，無柄。頭狀花，腋生，球形，無梗，花極小，淡黃色或黃綠色。瘦果長橢圓形，具 4 稜，無冠毛，褐色。

(11) 加拿大蓬 (*Conyza canadensis* (L.) Cronq.): 菊科，莖細長，上部多分枝，具粗毛。根生葉成簇生狀，披針形，邊緣粗鋸齒，上位葉互生，無柄，微有鋸齒。頭狀花序細小 2~3mm，呈圓錐狀排列，淡綠色，具淡黃白色冠毛，瘦果淡褐色。

(12) 野茼蒿 (*Conyza sumatrensis* (Retz.) Walker): 菊科，莖直立，具短粗毛，上方分枝。根生葉有柄，倒披針形。莖生葉，互生，無柄，線形。頭狀花序 3~4mm 比加拿大蓬略大，圓錐花序狀排列，淡綠色。冠毛淡黃褐色，瘦果淡褐色，扁長橢圓形。

(13) 昭和草(*Crassocephalum crepidioides* (Benth.) S. Moore): 菊科，以種子繁殖，莖直立，莖葉柔軟多汁。葉互生，具粗毛，長橢圓形，葉緣具不規則之鋸齒狀缺刻，有葉柄。頭狀花序紅褐色，由筒狀花組成，整個花序經常彎曲下垂，具白色冠毛。瘦果黑褐色，圓柱形。

(14) 鱧腸 (*Eclipta prostrata* L.): 菊科，分枝，匍伏或斜上，全株粗糙具短剛毛。葉對生，披針形，幾乎無葉柄，銳頭，狹腳，微鋸齒或全緣，質稍厚。頭狀花 1-2 個，腋生，具花梗，舌狀花白色，管狀花淡綠色。瘦果黑色。莖折斷處，傷口很快變黑色，故稱之為「墨菜」。

(15) 紫背草 (*Emilia sonchifolia* (L.) DC. var. *javanica* (Burm. f.) Mattfeld) : 菊科，全株綠白色，其莖葉背光處，呈紫紅色。葉互生，下位葉具柄，羽裂，上位葉無柄，披針形，抱莖，具粗鋸齒緣。頭狀花序，淡紫紅色 2-5 個著生枝頂，具花柄，花蕾期略呈垂頭現象。瘦果五稜形，褐色具白色冠毛。

(16)鼠麴舅 (*Gnaphalium purpureum* L.): 菊科，莖基部具有多數分枝，全株被有白絹毛。葉互生，無柄，全緣，舌狀，兩面皆有白色毛。頭狀花序淡褐色，開在葉腋及莖頂，很不明顯，瘦果細小，淡褐色，扁平的長橢圓形，具冠毛。

(17) 兔仔菜 (*Ixeris chinensis* (Thunb.) Nakai): 菊科，根粗大，具白色乳汁。莖直立，分枝。根生葉大且發達，無柄，披針形，葉緣如羽狀淺裂，莖生葉互生，較小，上位葉抱莖。頭狀花序黃色，瘦果具長嘴及白色冠毛。

(18) 鵝仔草 (*Pterocypsela indica* (L.) C. Shih): 菊科，莖直立而多分枝，中心具粗而白色之髓，有白色乳汁。葉形多變化，根生葉幾無柄，葉尖漸尖形，葉緣為全緣或羽狀裂，莖生葉線狀披針形，上表面綠色，下表面灰白色。頭狀花序，呈圓錐狀排列，總苞圓筒形，小花皆為舌狀花，淡黃色，果實為瘦果，長橢圓形，扁平，冠毛白色。

(19) 假吐金菊 (*Soliva anthemifolia* (Juss.) R. Br. *ex* Less.): 菊科，莖葉平鋪在地上，分枝甚多。葉互生，2-3 回羽狀深裂，各個裂片線形，葉表具長毛，具香氣。頭狀花序黃綠

色扁球狀著生於短莖上，平貼地面，花序下長根，可將植株牢牢固定在地面上，成熟之瘦果呈褐色扁平，被翅狀苞片包圍，具芒。

(20) 長柄菊 (*Tridax procumbens* L.): 菊科，莖匍伏地面，基部分枝，向四周擴散，全株被有短剛毛。葉對生，短柄，不規則鋸齒緣，葉片數目較少。花具長柄，單生，周圍淡黃色由 5 個舌狀花組合，中心為黃色，由多數管狀花構成。瘦果圓筒形，具有灰白色冠毛。

(21)一枝香 (*Vernonia cinerea* (L.) Less): 菊科，莖細長，上半部分枝，全株具灰白色短毛。葉有柄，互生，倒卵形至披針形，淺鋸齒緣。頭狀花序紫紅色，具柄。瘦果圓柱狀，具白色冠毛。種子褐色。

(22)黃鵪菜 (*Youngia japonica* (L.) DC.): 菊科，具乳汁。葉大部份為根生葉，有柄，羽狀深裂，倒披針橢圓形，莖生葉 1-4，小型。花莖直立，頭狀花序複繖房狀排列，著生多數花，黃色。瘦果茶褐色，扁平紡錘形，具白色冠毛。

(23) 小葉碎米薺 (*Cardamine flexuosa* With.): 十字花科，莖直立，纖細。葉互生，具疏毛，一回羽狀複葉，羽狀分裂，小葉橢圓形或倒卵形，邊緣波狀，有 2-3 缺刻。花白色，頂生或腋生。果實為長角果，成熟時果皮扭轉彈出種子，內含十餘粒種種子黃褐色。

(24) 山芥菜 (*Rorippa indica* (L.) Hiern.): 十字花科，莖直立分枝，無毛。根生葉平鋪地面，長橢圓形，羽狀分裂；莖生葉互生，小型，花多數著生枝端為總狀花序，花黃色，果實為長角果，圓柱狀，種子橢圓形，黃褐色。

(25) 飛揚草 (*Chamaesyce hirta* (L) Millsp.): 大戟科，莖斜上或直立，淡紅色或紫紅色，有毛，並具有乳汁。葉對生，微鋸齒緣，表面有紫紅色斑紋，基部歪形。大戟花序腋生，有柄或無密生排列成頭狀。蒴果寬卵形或球形，成熟時略為紅色。

(26) 紅乳草 (*Chamaesyce thymifolia* (L.) Millsp.): 大戟科，莖在基部分枝甚多，平鋪地面，向四面八方伸展，帶紫紅色，有毛，乳汁多。葉對生，卵形或長橢圓形，基部歪斜，具短柄，上半部葉緣有細鋸齒。大戟花序腋生，有毛，細小。蒴果球形，種子長橢圓形。

(27) 小返魂 (*Phyllanthus amarus* Schum & Thonn.): 大戟科，莖光滑，多少木質化，多分枝。葉互生，具短柄，二列整齊排列，長橢圓形或橢圓形，全緣，托葉三角狀披針形。單兩性，萼片 6，花小形，花梗短，單朵或二朵生於葉腋。果實為蒴果，扁球形，光滑，綠色至棕色。種子三角狀，表面有垂直稜線。

(28) 節花路蓼 (*Polygonum plebeium* R. Br.): 蓼科，俗名假扁蓄、珠仔草、鐵馬齒莧、腋花蓼等。莖纖細，匍伏地上，分枝多。葉互生，狹橢圓形，尖端鈍，具托葉。花聚生於葉腋，白色，帶粉紅色，種子三角形，黑色。

(29) 馬齒莧 (*Portulaca oleracea* L.): 馬

齒莧科，俗名豬母乳、豬母菜、長命菜、五行菜、馬莧、五方菜、瓜子菜、馬子菜等。以種子繁殖，莖分枝，基部橫臥地上，花枝傾斜向上，莖及葉肉質肥厚，常帶紫紅色，葉對生或互生，長橢圓形，鈍頭全緣，無柄。花黃色，無柄，頂生。果實為蓋果，成熟時橫裂，種子散落，種子圓形黑色。

(30) 繖花龍吐珠 (*Hedyotis corymbosa* (L.) Lam.): 茜草科，俗名珠仔草，定經草等。以種子繁殖，纖細分枝，光滑無毛，莖呈四稜形。葉對生，無柄，線形至披針形，葉緣向內捲，頂端具細小鋸齒狀毛。花 1~4 個著生於葉腋和頂端，花白色，具花梗，蒴果球形，種子多且細小，褐色。

(31) 珠仔草 (*Hedyotis diffusa* Willd.): 茜草科，俗名龍吐珠、定經草、二葉葎、圓葉白花蛇舌草等。以種子繁殖，莖自基部分枝，纖細，斜上或匍伏全株無毛，節處長根。綠色或帶暗紫色，莖有稜。葉對生，無柄，呈狹長的線形，全緣，花單生或成對著生於葉腋，花冠白色，花梗短而粗，蒴果球形，種子多，細小，多角狀球形，褐色。

(32) 藍豬耳 (*Lindernia crustacea* (L.) F. Muell.): 玄參科，俗名百合草、瓜仔草等。以種子繁殖，具細柔毛，基部擴散分枝，向上生長。葉對生，短柄，卵形～長橢圓形，頂端鈍角，全緣或具少許純鋸齒緣。花腋生，單一，有花梗，淡紫色，或紫色，蒴果球形～橢圓形，種子橢圓形，淡褐色。

(33) 龍葵 (*Solanum nigrum* L.): 茄科，俗名烏甜子、烏歸子、烏子仔菜、苦葵、水茄、牛酸漿等。以種子繁殖，莖多分枝，具三稜。葉互生，具柄，卵形或長橢圓形，全緣或波狀緣，花腋生，有總花梗，及小花梗，呈繖形排列，花白色，下垂。漿果圓球形，綠色，成熟時轉成黑色。種子扁平卵形，淡黃褐色。

2.多年生

(1) 長梗滿天星 (*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb): 莧科，以種子，莖節繁殖，莖匍伏，分枝多，常長出不定根落地。葉對生，長橢圓形，葉尖銳，無柄或具短柄，光滑無毛，全緣。花白色，球形，腋生，具長柄，密生於葉腋。胞果圓形。種子扁圓形。

(2) 竹仔菜 (*Commelina diffusa* Burm f.): 鴨跖草科，以種子，莖節繁殖。莖平臥，有分枝，節上長根。單葉，互生，幾無柄；葉披針形，葉基鈍，葉尖漸尖。花序為聚繖花序，成二組總狀排列，腋生，花梗細長，花藍紫；花瓣 3 片，側瓣 2 片對生，佛燄苞卵狀披針形，先端尖。果實為蒴果，具三個胞室，種子具網狀表面。

(3)馬蹄金 (*Dichondra micrantha* Urban): 旋花科，以種子，莖節繁殖，莖匍伏，纖細，全株具有短毛，節處長根。葉腎形或心狀圓形，全緣，互生，具柄。花著生葉腋，單生，白色或略帶黃色。蒴果為 2 個果，分果圓形密佈長毛。種子球形，黃褐色。

(4) 酢醬草 (*Oxalis corniculata* L.): 酢醬草科，俗名鹽酸草、酸味草等。莖橫

臥，匍伏生長，根肥厚，有走莖，節處生根。葉互生，具長柄；三出複葉，倒心形無柄。花黃色，繖形花序腋生，具柄，1 至數朵，花瓣 5。蒴果圓筒形，密佈細毛，成熟時彈出種子，種子橢圓形，褐色。全株植物具酸性。

(5) 紫花酢醬草 (*Oxalis corymbosa* DC.): 酢醬草科，根肥厚，地下麟莖發達，沒有明顯的莖。葉根生，呈叢生狀，具有長柄，柄上有茸毛，三出複葉，倒心臟形。花粉紅或紫紅色，長在很長的花梗上，排列成繖形花序，花苞下垂。開花卻不結果，所以沒有種子。

(6) 車前草 (*Plantago asiatica* L.): 車前草科，地下莖粗短。葉根生，具長柄，卵形或橢圓形，具 5 條主葉脈，葉全緣波狀。穗狀花序腋出，單一，花多數，無柄，白色。蒴果長橢圓形，內含種子，扁平，黑褐色。

(7) 蠅翼草 (*Desmodium triflorum* (L.) DC.): 豆科，以種子繁殖，俗名三金草、三耳草等。匍伏性莖且貼地生長，細長，被有白毛。三出複葉，互生。具葉柄，小葉倒卵形，截頭，頂端凹入，密佈白毛。具托葉，漸尖形。花腋生，單一或 2-3 聚集，有花柄，紫紅色，莢果 2-6 節，種子長橢圓形，黃綠色。容易產生種子且數量多，藉著割草機四處傳播，在草坪中形成一區區色澤差異極大的草塊。

(8) 雷公根 (*Centella asiatica* (L.) Urban.): 繖形科，俗名蚶殼草、地棠草、銅錢草等。莖細長，匍伏地面，常呈紫紅色，全株具有微毛，節間長，在節上長根生葉及花序。葉圓腎形，鈍鋸齒緣，葉柄甚長。花淡紅色，細小，2-6 朵排成繖形花序。果實扁圓形，紅褐色。

(9) 天胡荽 (*Hydrocotyle sibthorpioides* Lam.): 繖形科，俗名天胡萎、天胡荽、遍地錦等。以種子、走莖繁殖，莖匍伏地面，節處生根，光滑無毛。葉圓心臟形，淺裂，互生，具長柄，鈍鋸齒狀。單一繖形花序，腋生，具花梗，花白綠色或帶粉紅色，果呈扁球形，茶褐色，種子扁平，半圓形。

(10) 山土豆 (*Alysicarpus vaginalis* (L.) DC.): 豆科，俗名山土豆、土豆舅、煉莢豆等。莖直立或斜上，叢生，分枝多，基部木質化。單葉互生，有柄，橢圓形，頂端微凹或鈍圓形，托葉乾膜質，具條紋。花紫紅色，頂生的總狀花序。莢果扁筒形 4-9 節，成熟後，各節分別掉落。種子橢圓形褐色。

(11) 含羞草 (*Mimosa pudica* L.): 豆科，俗名羞誚草、見誚草、指佞草、知羞草、怕癢花、懼內草等。多年生亞灌木，莖基部分枝，直立或傾斜，具長軟毛及銳刺。葉互生具長柄，二回羽狀複葉，羽片 2-4 個，小葉對生，長橢圓形，邊緣帶紫色。花紫紅色，圓球狀，腋生，具花梗。莢果 2-4 節，表面有茸毛，每節一粒種子，種子扁平，褐色。

四、雜草的危害

(一)競爭之危害

自然狀況下，雜草競爭陽光、養分、

水分、空間通常要比草坪草為強勢，影響草坪草的正常生長；如果放任不管，在數月內，雜草即可完全取代草坪本草，例如馬唐屬雜草。一般草坪之例行管理如剪草等，對較弱之雜草有不錯之抑制效果，但部分適應性良好之強勢雜草，仍然會上延擴散，逐漸取代原有之本草，導致管理維護的時間、人力與費用增加(徐及蔣 1994, 2000a,b)。雜草的存在除了干擾田間管理工作與競爭危害之外，亦有可能帶來其他的病蟲危害。有些雜草由於向上之生長較草坪本草為快，需要增加剪草的次數，才能維持草坪的整齊。

(二)對草坪及人之影響

雜草與草坪生長的速度不同，同時存在時因色澤及形態的差異，使草坪呈現區塊狀之外觀，影響整體之一致性。以休閒及運動為主之草坪如運動公園、高爾夫球場，在這方面之標準較高，較不能容忍雜草大量的發生(徐及蔣 2003, 竹松哲夫 1985)。雜草與原來草坪草的葉片質地、寬度、磨擦阻力、剪割後再生長的速率不同，可對人類之活動造成干擾，有些雜草種子，例如咸豐草、竹節草會沾附於人們的衣褲，引起不悅之感覺，同時藉機散佈雜草種子，造成雜草的大量滋生與蔓延。有些雜草的莖葉或種子上具有刺突、毛絨，內含有刺激、過敏及毒性之成份會引起人的皮膚或呼吸的不愉快，甚至造成病痛。有毒雜草如豬草、銀膠菊是花粉熱的過敏源則會引發人類的病症(Bingham 1995, 徐及蔣 2003)。

五、草坪雜草的管理方法

(一)管理的目的與重點

大量的雜草發生會影響草坪草的正常生長，造成危害或有礙景觀，草坪的特殊環境既有利於草坪的生長，亦有利於雜草的生長。雜草是不受歡迎的植物，於草坪裸露、病蟲侵害、草坪種植、管理維護工作進行時，隨時皆可能趁虛而入。雜草的發生不分季節，與草坪同時存在時，因葉片質地、寬度、色澤及形態的差異而破壞草坪的均一性。對於草坪中雜草週年的變化，須做長期之監測，掌握新侵入雜草群落的發生與消長，對於蔓延快速、危害嚴重，難以防治或拔除的雜草，應避免其入侵，一旦發現需及早處理。雜草對草坪的干擾及競爭危害，直接影響草坪的品質，而雜草的管理首先要瞭解草坪中發生之雜草種類、分佈及發生嚴重的雜草，才能有效的防除雜草。實際執行需視草坪類別而決定，景觀、裝飾用草坪，講求美觀整齊且少踐踏，管理頗為嚴謹，所以雜草發生的頻率不高，一旦雜草覆蓋率高於草坪時，需採用全面更新草坪的方法(Murphy 1999)。娛樂、運動的草皮，較注重草種的選擇，利用多種方法防除雜草，但要求的水準比景觀、裝飾用草坪為低，雜草總是零星發生。一般綠地、水土保持用草皮，對於雜草則採粗放管理，多用機械剪草的方法，少用化學藥劑防治，雜草的多寡與機械剪草的次數及其他栽培管理的方法有關。因要求的層次低，僅以維持一片綠地為目的，並不注重雜草的實際防治(Bingham 1995, Murphy 1999)。

利用施肥、澆水、割草高度、頻率、減少病蟲害等管理方法，加強草坪的生長勢、覆蓋的緊密度，可增加草坪對雜草的競爭力。某些雜草，例如牛筋草、早熟禾、升馬唐、野茼蒿等，在光線充足的環境下，有較佳的發芽率，在管理上保持良好的草坪覆蓋率，減少裸露地，使得直接照射到土表的光線減少，就可降低雜草的發芽率。避免草坪生長變弱，裸露土表，栽培管理尚需考慮不該有太乾的或太濕的區域發生。多水潮濕的地方，因土壤的通氣性不佳，容易發生根部病害；施肥的過多或不足，也會使得草坪生長勢滑落。在草坪中普遍發生的病蟲害，也影響草坪的生長活力，雜草容易趁虛而入(徐及蔣 2000b, Murphy 1999)。

(二)防除方法

1.預防雜草

預防性防治法主要是防止雜草以自然及人為方式之散播，避免或減少有害雜草種子及營養繁殖體在草坪中流動。種子繁殖量大的雜草如早熟禾、酢醬草、兔仔菜、黃鵪菜等應在開花結果期前防除，以避免種子產生、散播，種子會使得草坪雜草發生情況惡化。多數多年生雜草，例如雙穗雀稗、白茅、鋪地黍、香附子、短葉水蜈蚣、蠅翼草等都是危害大而不易防除之重要草坪雜草，土壤中含有此類雜草時，最好能在植草前徹底將之清除(徐及蔣 2000a, 2003)。新植草坪少數新發生之多年生草亦不容忽視，尤其是多年生禾本科雜草，等到危害擴大時，更難處理，嚴重時甚至需要更新草坪，才能解決棘手的雜草問題。

2.人工拔草

拔除以種子繁殖之雜草幼株為主，許多草坪中發生的匍伏性雜草，蔓延面積廣且與草坪交錯生長，往往無法徹底拔除。小面積之草坪管理，如家庭式庭園、高爾夫球場之果嶺或雜草密度低之區域，在發生用機械或化學藥劑無法防除之問題雜草時，需以人工拔草之方式清除。甚至於在生態敏感地區如設於水源地的高爾夫球場，為避免水污染，造成環境安全疑慮時在不宜使用農藥的考量下，亦以大批之人工拔除雜草。人工除草雖然耗時、費工、效率低，但不影響環境安全，也不會有草坪藥害的情形發生，適度的利用人工除草並配合其他防除法可維持一個良好的草坪(徐及蔣 2000a, 2000b, Murphy 1999)。

3.機械剪草

機械剪草是草坪管理例行之工作之一，可維持草坪的色澤質地及觀賞價值，對於植株較高之大部份雜草，在多次修剪之後即無法存活。生長旺盛又以營養器官繁殖為主之多年生草，因其莖節留於草坪中，藉豐沛之水分、養分，可再度生長。故需在機械剪草後，即行收草並丟棄，以免雜草藉剪草機四處擴散。剪草之時機，最好是雜草未開花之前，機械剪草只能暫時抑制雜草生長，並不能完全清除雜草。

4.化學藥劑防除：

化學藥劑可分為土壤燻蒸劑、土壤處理藥劑及莖葉處理藥劑。土壤燻蒸劑如溴化甲烷(methyl bromide)、邁隆(dazomet)、斯美地(metham sodium)等，

以此類藥劑處理土壤之後，於草坪種子播種前使用，可以有效控制草坪本草發芽至長成期間之雜草競爭。但土壤燻蒸劑使用需配合專業之技術，才能安全、有效的使用。土壤處理藥劑為萌前藥劑，於雜草萌芽前施用，對於季節性一年生雜草有顯著的抑制效果。莖葉處理藥劑為萌後藥劑，其中又有選擇性與非選擇性藥劑之區分，於雜草生育初期，噴施於雜草莖葉上；非選擇性藥劑會將草坪本草一起殺死，而選擇性藥劑可有效防除某些特定對象之雜草。化學藥劑防除法雖然有省工、省時、效率高的優點，但需考慮對環境安全的評估及對草坪本草的傷害(Thomson 1990, 徐及蔣 1999, 2001)。

臺灣地區草皮使用之除草劑經合法登記者(2004 年止)為百速隆(pyrazosulfuron) 10%可濕性粉劑、快克草(quinclorac) 50%可濕性粉劑、依速隆(imazosulfuron) 10%水懸劑、伏速隆(flazasulfuron) 10%可濕性粉劑、滅落脫(napropamide) 50%水分散粒劑、甲基砷酸鈉(MSMA) 45%溶液、汰硫草(dithiopyr) 32%乳劑，而實際使用之除草劑至少有 20 種。目前大部份之闊葉雜草及莎草科雜草，可藉著選擇性藥劑控制，但對多數禾本科雜草，本省並無較安全可使用的登記藥劑。不同的草坪草種對各種除草劑有不同的反應，如復祿芬、草脫淨、達有龍、樂滅草，對百慕達草、假儉草、韓國草造成不同程度的傷害(徐及蔣 1996, Hensley 1996)，故使用前必須謹慎選擇藥劑。

(三)難以防除的雜草

草坪中禾本科雜草的管理一直是個令人困擾的問題，人工除草雖然耗時、費工、效率低，對於禾草的防除最為直接，但對於多年生禾草頑強的地下根莖，很難徹底拔除，在事倍功半的情況下，必須尋求其他的防除法。就雜草防除的觀點而言，必須防止雜草侵入，對於危害嚴重的雜草應及早徹底清除，雜草才能有效被抑制。禾本科雜草除了利用萌前除草劑抑制多數一年生禾草的萌芽之外，對於成株雜草，或以無性繁殖為主的多年生草，都必須選用萌後的選擇性除草劑(Hensley 1996, Murphy 1999)。目前登記在草坪上使用藥劑，只有快克草可以有效的防除兩耳草和升馬唐，對其他大多數的禾本科雜草則採用全面或局部更換草坪之方式，以剷除禾本科雜草(Boyd 1999, 徐及蔣 1999)。

1970 年以後所研發出來的抑制禾草之藥劑(graminicides)，藉由對 Acetyl CoA carboxylase 之抑制，干擾禾本科植物脂肪之合成，其中屬於芳烴氧苯氧羧酸(aryloxyphenoxycarboxylic acids)類者有伏寄普(fluazifop)、快伏草(quizalofop-ethyl)、甲基合氯氟(haloxyfop-methyl)、芬殺草(fenoxaprop-ethyl)、普拔草(propaquizafop)；屬於環己烯氧(cyclohexanedione)類者有環殺草(cycloxydim)及西殺草(sethoxydim)。此類藥劑由莖葉吸收可傳送至其他部位，在生長點累積。首先產生之徵狀為芽生長停頓及幼葉之黃化，可呈現不同程度之紅、紫或橙色葉後褐化枯死，通常須 10~20 天達最大效果。台灣田間除草劑登記用藥量，皆為較難防除的雜草所設定，此用藥量對多數草均屬過高。利用

上述抑制禾草藥劑，降低劑量施用，測試對各種禾本科草坪植物及雜草之間的選擇性，可以篩選出防除禾本科雜草又不傷害草坪植物之藥劑。經農藥所初步測試結果，結縷草對伏寄普及假儉草對西殺草的容忍性極高，所以伏寄普可用來防除結縷草上的牛筋草、狗牙根等禾草；西殺草可用來防除假儉草上的升馬唐、早熟禾、牛筋草、百喜草、雙穗雀稗、兩耳草等多種禾草。因此，抑制禾草之藥劑在草坪雜草管理上仍有其發展潛力，唯其使用的劑量及草種的選擇必須正確的掌握。

六、結語

草坪雜草雖屬旱生草，但草坪於種植後多不再行耕犁、整地，故雖同屬旱地，但雜草之發生與作物田及果園等可能有相當程度之差異。對於草坪中雜草週年的變化，須做長期之監測，掌握新侵入雜草群落的發生與消長，避免雜草種子大量的產生、防止以繁殖器官擴散的多年生雜草侵入，對於蔓延快速、危害嚴重，難以防治或拔除的雜草，更應加強避免其入侵，一旦發現這般雜草需及早處理。草坪中雜草的管理，預防功效大於防治，故草圃建立前地點的選擇及管理方式與以後草坪中雜草的數量有密切的關係。選擇適當的草種，是草坪建植成功與否的先決條件，草坪草種對環境的適應性及建植的效率是重要的因素。再加上適當的管理方法，加強草坪的生長勢、覆蓋的緊密度，可增加草坪對雜草的競爭力。最後掌握草坪上發生雜草的特性及生態，配合各種的雜草防除方法，即可做好草坪雜草管理的工作。

七、參考文獻

徐玲明、蔣慕琰。1993。臺灣草坪雜草之種類調查及植群分析。中華民國雜草學會會刊 14:79-92。

徐玲明、蔣慕琰。1994。草坪之雜草及其管理。p.259-269。臺灣花卉病蟲害研討會專刊。中華植物保護學會編印。

徐玲明、蔣慕琰。1996。百慕達草、高麗芝及假儉草草皮對七種萌前除草劑之忍受性。中華民國雜草學會會刊 17:18-26。

徐玲明、蔣慕琰。1999。臺灣草坪雜草彩色圖鑑。農業藥物毒物試驗所編印。160pp。

徐玲明、蔣慕琰。2000a。草坪雜草的管理。中華民國雜草學會會刊 21:40-50。

徐玲明、蔣慕琰。2000b。草坪綠地的雜草管理方法。p.179-191。2000 休閒綠地管理實務研討會專刊。財團法人七星農業發展基會，臺灣公園綠地協會編印。

徐玲明、蔣慕琰。2001。14 種熱帶型草草坪的生長調查及其對除草劑的反應。中華民國雜草學會會刊 22:31-44。

徐玲明、蔣慕琰。2003。草坪草種的種類、特性與雜草管理。p.85-97。休閒作物資源開發與應用研討會專刊。花蓮區農業改良場編印。

黃增泉。1994。植物分類學。國立編譯館。658pp。

竹松哲夫、竹內內智。1985。芝生の除草理論と實際。博友社 日本。395pp。

原島德一。1994。草地の雜草管理。p.365-377。雜草管理。ハンドブツク

草薙得一、近內誠登、芝山秀次郎編。朝倉書局。日本。

Bingham, S.W. W.J. Chism and P.C. Bhowmik. 1995, Weed management systems for turfgrass. p.603-665. *In:* Handbook of Weed Management Systems. A.E. Smith, eds. New York: Marcel Dekker Inc. USA.

Boyd, J. 1999. Managing problem weeds in turfgrass. http://ipm.uaex.edu/Turf/contrbwd.html

Hensley, D., R.K. Nishimoto and J. DeFrank. 1996. Chemical weed control recommendations for turfgrasses in Hawaii. http://www2.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/II-20.pdf

Murphy, T.R. and L.B. McCarty. 1999. Turfgrass weed management. http://www. griffin. peachnet. Edu / cssci / TURF /turf.htm

Thomson, W.T. 1990. Tree, Turf and Ornamental Pesticide Guide. p.55-110. Thomson Publications. Fresno. CA. USA.

Turgeon, A.J. 1985. Turfgrass Management. Reston Co., Inc., Virginia. USA. 416pp.

第十五章　果園之雜草管理

袁秋英
行政院農委會農業藥物毒物試驗所公害防治組

一、前言

農業栽種系統中，雜草為作物減產的主要原因之一。已開發國家使用的雜草防除方法，包括使用選擇性除草劑配合抗除草劑的基改作物等，可有效減少雜草的危害(Cousens and Mortimer 1995)。而開發中國家使用除草劑則成為一額外支出，一般果園雜草管理策略包括預防性管理、物理法、化學法、草生栽培法及綜合方式等。建立一個長期有效的雜草管理策略，必須依據果樹栽培管理為基礎，配合雜草的生態及生物多樣性等特性之了解，進而對雜草生態系進行最多樣性的干擾操作，意及對雜草族群形成持續性的抑制，使得雜草對作物的競爭力降至最低(Liebman and Davis 2000)。預防性管理主要針對果樹栽種前使用，屬於間接性防除，包括覆蓋作物及土壤消毒等，而物理法、化學法及綜合法主要針對果樹栽種後使用，屬於直接性防除，則包括耕犁、割草、覆蓋、除草劑及耕作系統調整等。此二類防除方法皆可降低雜草密度及雜草的生物量及覆蓋度，此外間接方法亦可以降低雜草萌芽數量，而直接方法可增強作物與雜草的競爭力。

臺灣屬海島型亞熱帶氣候，年平均雨量約 2,500 mm，為世界平均值的三倍，包括梅雨季節及颱風季節。由於臺灣地理環境特殊，地勢陡峻，地形脆弱，造成相當嚴重的水土保持問題，主要原因在於坡地的開發及農作物生產過程中對生態環境的破壞，其中果樹為重要的作物，70%以上果園栽植於坡地。果樹的栽種多屬小規模經營，於陡峭的坡面不利於大型農機的操作，常需依賴人工的作業，極其不便。一般果園光照充足，易滋生雜草，早期果農於園區雜草管理多採用鐮刀割草或鋤頭耕犁。近 20 年來由於除草劑的開發，臺灣目前登記於果園的除草劑有 32 種，由除草劑於土壤殘效及對防除對象選擇性等特性，可用於不同長短期間或針對某特定雜草之防除，故化學藥劑除草為目前臺灣農民最常使用的雜草防除方法。然而藥劑使用不當或過度噴施非選擇性除草劑，極易造成土壤之裸露、侵蝕及沖刷等現象。適宜之雜草管理，絕非將雜草完全除去，而是當雜草造成果樹生長或栽培管理的干擾時才移去或防除。如何適當的利用除草劑，發展原生性草本植物之草生栽培體系，以建立符合坡地農業的雜草管理系統，為近年來雜草研究極需努力之課題。

二、果園雜草之角色

一般果園園區內的地被植物與作物生長或產量、品質之間的關連性極為密切。以往對於地被植物在作物園區內的角色，皆以農作物生產的經濟效益為出發點，所見者皆為其負面影響，稱園區內非栽培之植物為雜草。所以對地被植物所採取的處理方式，以防除為主，因此園區大都呈除淨狀態(clean culture)。然而坡地果園的栽植，其土壤沖蝕需要依賴土表覆蓋植物的控制，才能達水土保持之效果。因此，園區內草本植物之存在，具有對環境安全性之特殊功能。以下就園內雜草與果樹間的關係說明之。

(一)負面影響

1.土壤水分、養分之競爭

一般地被植物於生長旺盛時期，常導致作物對水分、養分的利用率降低(Jordan and Jordan 1985, Liebman and Dyck 1993)，雜草與 Valencia 柑桔的競爭性影響之研究顯示，果樹體積、莖幹直徑、葉面積及新生分枝長度皆以無草處理區最好(Jordan and Jordan 1985)。柑桔園的狗牙根族群易導致柑桔生長速率降低(Wondimagegnehu and Singh 1989)，使得果樹產量降低。清耕的柑桔園產量為不除草園區的 115% (McCloskey *et al.* 1997)。雜草造成的水分及養分競爭問題，於幼齡果樹或春季萌芽中植株最顯著，且以乾旱地區或旱季較嚴重。

2.植物毒質傷害

植物由根部或分解後的殘質分泌對其他植物有害之毒物質，此種抑制現象稱之為植物相剋作用(allelopathy)(Rice 1984)。全球危害嚴重的雜草鵝觀草(*Agropyron repons*)、香附子和強生草等，已證實具有顯著之相剋潛勢(Rice, 1984)。臺灣研究亦顯示紫花藿香薊、野莧等植物，具有影響甘藍及白菜等多種蔬菜作物萌芽及胚軸生長的成分(袁及蔣 1992)，以往於水土保持使用的覆蓋植物山珠兒豆、營多藤等，亦已證實具有分泌毒物質之危害。

3.病蟲之寄主

多種雜草為某些病原菌或昆蟲之寄主(Jordan *et al.* 2000)，因此不但可促進病蟲害之散佈，或經由其微氣相的改變，使作物易於遭受危害。經由臺灣地區的雜草與線蟲之相關研究顯示，雜草的存在與根瘤線蟲族群之消長具關連性，其中約有 60 種雜草為根瘤線蟲之寄主(蔡及林 1984)，而一般果園大都涵括此等雜草。因此果園中雜草的種類及發生時期與果樹病蟲的滋生及危害，具有極重要的互動關係(Zanin *et al.* 1997)。

4.蛇鼠及其他有害動物之藏匿場所

一般疏於管理的果園，雜草株形高大及族群密集，易藏匿蛇鼠，此等有害動物會造成農民及作物根部之傷害(Meyer 1985, Skroch and Shribbs 1986)。

5.其他管理作業干擾

園區內的雜草除了會造成對抑制果樹生長及影響果實產量及品質，亦會造成園區施肥、修剪和採收等操作之不便，甚至影響園區的美觀，因而阻礙觀光果園之發展(Meyer 1985, Skroch and Shribbs 1986)。

(二)生態意義

一般作物園區的草本植物，若加以妥善管理和利用，可兼具調節微氣相和水土保育的特殊功能，其於作物植株生態系的意義。

1.改善土壤理化性質

草本植物的根系穿入土壤，能疏鬆表土，改善土壤結構。此外雜草每年有半數以上的根系老化、腐爛，可增加有機質(Merwin and Stiles 1994b)。常用之覆蓋植物百喜草，每季可增加 56%有機質含量(游 1992, Akobundu 1992, Haynes 1981)。清耕的園區有機質含量較低，後期栽種的桃樹生長勢較弱(Tworkoski and Glenn 2001)。

2.減少園區表土之沖刷與侵蝕

一般坡地果園於雨季易造成表土之沖刷與流失，臺灣地處熱帶及亞熱帶地區，夏季雨量大且急驟，裸露之柑桔園土壤流失量高達 156 ton ha^{-1} yr^{-1}，逕流率為 73.8%，若於柑桔園栽植百喜草，則土壤流失量可降為 2.8 ton ha^{-1} yr^{-1}，逕流率降為 6.2%。因此於多雨及侵蝕嚴重地區，不宜全面除草(游 1992, Akobundu 1992, Lal *et al*. 1991)。

3.減少肥分流失

果園經由雨水沖刷表土以外，亦會造成營養元素的流失，坡度 16 度之柑桔清耕園，其土壤內之腐植質，氮、磷、鉀含量流失量分別為 16.5、49、3.5 及 1.4 L ha^{-1}，造成柑桔生產成本之浪費。善加利用覆蓋植物，可降低養分喪失(Lowell 1985, Lal *et al*. 1991)。

4.調節土壤溫度及濕度

地被植物可緩衝土壤之日夜溫差或季節之高溫或寒害，此外亦可供給微生物及蚯蚓活動的適當環境(Akobundu 1992, Lal *et al*. 1991)。

適當的果園雜草管理，絕非一味將地被植物完全去除，而是當其造成果樹生育和園區管理干擾時，才移去或抑制其生長。有效的地被草本植物管理須基於對此等植物存在的評估，及以作物的需要為前題，並非只在於費用或處理上的方便而已，因此雜草對作物造成競爭的影響為主要之考慮因素(Hirose 1988)。在永續農業理念下之雜草管理，為如何管理地被草本植物，使自然資源和環境品質得以維持，尤其熱帶潮濕國家，其氣候特殊、具高度人為污染及栽培管理技術層次較低等因素，故其需求大於其他國家(Akobundu 1992)。因此適當的地被植物管理理念必須考量的因素為：雜草對作物影響的評估，園區內其他管理作業之配合，以及土壤、雨量、氣溫等環境因子的影響考量，然後選定適當處理方式、時期及次數，方能達成最終之經濟效益和環境安全性的目的。

三、雜草種類及其生態特性

(一)雜草種類

一般果園內自發性雜草的族群，大多為數 10 種以上雜草的複合植物相，各種植物萌芽時期及生長習性皆不盡相同，隨季節變化呈不同模式之消長現象(蔣等 1995, Ashton and Monaco 1991)。根據農委會藥毒所近年來之調查顯示，臺灣低海拔之柑桔園、芒果園、蓮霧園及葡萄園的雜草約 40 科 100 種以上，以菊科、禾本科、莧科、蓼科及莎草科為主(袁及蔣 2002, 2003)。依生活史長短，

雜草可區分為一年生、越冬二年生及多年生植物。一年生者如升馬唐(*Digitaria ciliaris*)、紫花藿香薊(*Ageratum houstonianum*)、野莧(*Amaranthus viridis*)、碎米莎草(*Cyperus iria*)等，以種子為主要繁殖器官。多年生者可利用營養器官如走莖、塊莖、球莖繁殖，包括狗牙根(*Cynodom dactylon*)、香附子(*Cyperus rotundus*)、酢漿草(*Oxalis corniculata*)等。果園雜草依萌芽及生長適溫，又可區分為暖季草、冷季草和全年生長者三類別。一般一年生禾草和莎草科植物皆屬暖季草，於春季氣溫回升即大量萌芽，如牛筋草(*Eleusine indica*)、碎米莎草、木虱草(*Fimbristylis littoralis*)等。此外，紫背草(*Emilia sonchifolia*)、一支香(*Vernonia cinerea*)、闊葉鴨舌黃舅(*Spermacoce latifolia*)、青牛膽、臺灣何首烏亦屬暖季草。冷季草為秋末冬初氣溫降低，才開始萌芽生長者，如山芥菜(*Rorippa indica*)、假扁蓄(*Polygonum plebeium*)、小葉灰藋(*Chenopodium album*)、薺菜(*Capsella bursa-pastoris*)、焊菜(*Cargamine flexuosa*)等，鵝兒腸(*Stellaria aquatica*)於低海拔地區屬冷季草，但於中海拔梨山地區可全年生長。早熟禾亦屬冷季草，於梨山地區可全年生長。適應臺灣四季氣候變化而全年生長者，包括大花咸豐草(*Bidens pilosa* var. *radiata*)、龍葵(*Solanum nigrum*)、野莧、紫花藿香薊等。

雜草相之組成，亦受園區內光照及土壤水分等微氣候的影響而改變，由於樹冠下方遮蔭程度以及土壤含水量之差異，使得雜草於園區內的分佈不同(Ito *et al.* 1987, Lipecki *et al.* 1985)，例如pigweed(莧科)喜高氮肥，適於強光下生長，bindweed(旋花科)適於弱光下生長，易於樹冠下方形成群落(Ellenberg 1974)，早熟禾(meadowgrass)適於潮濕環境生長，旱季之生長速率受抑制(Bulcke and Callens 1998)。

(二)地被植物的管理對草相之影響

經常性高頻度使用同一種藥劑，易造成抗性或耐性雜草之發生，全球174種抗性雜草中以黑麥草(*Lolium rigidum*)、野燕麥(*Avena fatua*)、redroot pigweed(*Amaranthus retroflexus*)、藜(*Chenopodium album*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、稗草(*Echinochloa crus-galli*)、牛筋草、地膚(*Kochia scoparia*)、加拿大蓬(*Erigeron canadensis*)及smooth pigweed(*A. hybridus*)等10種雜草抗藥性問題最嚴重。臺灣柑桔園試驗結果顯示，嘉磷塞對雷公根及白花牽牛(*Ipomoea biflora*)之防除效果不完全，華九頭獅子草具高度耐性(袁及蔣 1996, 2001, Yuan *et al.* 2002)。巴拉刈則無法完全殺死兩耳草、狗牙根及短葉水蜈蚣(*Kyllinga brevifolia*)，臺灣野塘蒿(*Erigeron sumatrensis*)已證實為巴拉刈之抗性植物(袁及蔣 1996, 蔣等 2002)。波蘭蘋果園先後施用巴拉刈(paraquat)、草滅淨(simazine)、固殺草(glufosinate)或嘉磷塞(glyphosate)等除草劑，由於雜草對於除草劑敏感度之差異，10年後區內雜草種類及頻度發生改變；*Capsella bursa-pastoris*、*Convolvulus arvensis* 及加拿大蓬主要分佈於果樹行內，*Amaranthus retroflexus*、稗草

(*Echinochlora crus-galli*)、*Polygonum aviculare*、*Taraxacum offinale* 及加拿大蓬等雜草分佈於通道上，而多年生黑麥草(*Lolium perenne*)、*Agropyron repen* 及 *Taraxacum offinale* 則主要分佈於果樹行間 (Mikulas and Pölös 1983)。

(三)臺灣近年果園草相之變遷

由於大花咸豐草株型高大，具有全年可萌芽開花、種子數量多及莖節易生根再生枝葉等特性，因此近年來臺灣低海拔地區果園的大花咸豐草已形成極強勢的廣大族落。多年生雜草的走莖及塊莖多著生於土表下，以耕犁或接觸型藥劑，無法達成全面根除的效果，屬防除不易之雜草。因此近年來在疏於管理的果園，多年生草有增多的趨勢。此外蔓性植物亦日漸增加，如小花蔓澤蘭(*Mikania micrantha*)、細梗絡石(*Trachelospermum gracilipes*)、豌仔花(*Ipomoea hederacea*)、三角葉西番蓮(*Passiflora suberosa*)、青牛膽(*Thladiantha nudiflora*)、臺灣何首烏(*Polygonum multiflorum* var. *hypoleucum*)等易攀附於果樹植株，影響果樹正常發育，且造成園區管理之困擾，目前數種系統性藥劑防除效果皆不盡理想。造成管理不易的難題。至於梨山地區福壽山農場果園及武陵農場的蔬菜田邊坡地，已被一種外來蓼科植物大羊蹄(*Rumex obtusifolius*)入侵，其株型高大，除了造成對作物的養、水分之競爭外，亦妨礙園區內其他管理作業的操作。其種子數量多，繁殖潛力強，嘉磷塞藥劑防除之效果不佳，此地被植物的分布已逐漸擴散，成為目前梨山地區難防除的主要雜草(袁及蔣 1996, 2002b, 2003b)。

果園雜草的發生主要受地區雨量、季節性溫度變化及園區雜草管理方式影響，不同地區果園雜草種類受雨量和溫度影響較大，同一地區果園雜草受管理方式影響較大。因此，作物園區內地被植物大多為一種複合植物相，各植物萌芽時期及生長習性差異亦大，隨季節變化呈不同模式之消長現象，很難於週年採單一方式管理或防除。

四、雜草管理之方法

一般果園之管理方法，可區分為物理法、化學法、草生栽培法及栽培系統之綜合管理法。臺灣果農對於園區內雜草多採全面防除的方式，栽植園區面積小者，以耕犁、割草或覆蓋，再配合噴施除草劑，達成防除雜草目的。栽植園區面積大者，則以噴施除草劑為主。管理頻度高的葡萄園及梨園等，一年割草 1-2 次並噴施除草劑 2-3 次，管理頻度低的柑桔園及芒果園等，割草及噴藥次數共 2-3 次。不同的雜草管理方式各具優缺點。

(一)物理法

1.耕犁

利用犁、耙、鋤頭等農具翻動表土，將草根切斷或將雜草埋入土中，可以達到除草之目的。對尚未萌芽之雜草，耕犁不具效果；而當雜草過於旺盛高大時，則上述農具則難以操作。在含石礫過多、園面崎嶇不平、或表土潮溼積水之狀況下，此種方式之除草亦難以實施(Ito 1988, Matheron 1998)，耕犁雖常用於一般旱作田之除草，由於耕犁時對作

物根部的傷害，易使根部感染真菌性病害(Matheron *et al.* 1998)，實際上在果園中則不甚普遍，僅在平地果園如葡萄園、木瓜園等偶爾可見到以小型耕耘機帶動迴轉犁清除田面雜草。

2.割草

果園中傳統之割草多使用鐮刀或帶長柄之草刀，此種方法之割草相當辛苦耗時。在較專業化之果園地區，使用背負式迴轉剪草機割草已日漸普遍(Ito 1988, Matheron 1998)。較大型之乘坐式剪草機，因價格高、維護不易且操入受地形之限制，在臺灣地區果園中仍極為少見。剪草之高度多在 5-10 公分之間。由於可使地面保持相當之覆被，且不會破壞草類之根系，由水土保育之觀點而言，割草是果園裡最適宜之雜草防除方法，也是實施草生栽培所必須使用之除草方式。以適當頻度割草之果園中，土壤有機物之補充量亦較其他方式除草者為高(Merwin and Stiles 1994a, Merwin *et al.* 1995)。但是在各種除草方法中，割草所能達到之有效除草期間最短；尤其在高溫及潮溼之季節，需要 2-4 週之間隔割草，才能將雜草高度維持在 20-30 公分以下之理想高度。對人力不足或經營利潤不高之果園經營者，屬於高負擔之防除方法，多數果園很難完全依靠此種方法來除雜草(Ross and Lembi 1999)。

3.敷蓋

少數果園利用塑膠布、稻草或其他材料行地面敷蓋，這些敷蓋物可藉由遮避光線及形成機械障礙而阻礙雜草之萌芽及生長(Skroch and Shribbs 1986, Merwin *et al.* 1995)。敷蓋可取代萌前藥劑的施用，適合於新栽種果樹下方的雜草防除(Tworkoski, 2001)。由於材料取得不易、價格昂貴等因素，稻桿敷蓋葡萄園區尚有使用，常綠果樹園區中則少見。

(二)化學法

1.除草劑的種類

果樹及其他多年生作物的土壤管理，於 1950 年代後期才開始使用除草劑，主要的藥劑為二、四-地(2,4-D)及 chloropropham，屬於化學藥劑和機械除草的結合性管理方式。1960 年代巴拉刈和 diquat 可防除一年生草，甲基砷酸鈉(MCPA)、MCPB 及二、四-地防除多年生闊葉草，陸續發展的藥劑有草滅淨(simazine)、三福林(trifluralin)及克草(bromacile)等除草劑(Ashton and Monaco, 1991)。目前臺灣登記於果園的藥劑有 21 種(表 1)(費及王 2002)，依藥劑使用時期可區分為萌前及萌後藥劑，萌後施用者包括嘉磷塞、固殺草、氟氯比(fluroxypyr)等，萌前施用者包括達有龍(diuron)、甲基砷酸鈉及三福林等。克草可於萌前或早期萌後施用。各藥劑的主要防除對象不盡相同，嘉磷塞、硫復松(sulfosate)、固殺草、嘉磷二、四-地(glyphosate-isopropyl ammonium + 2,4-D)、甲基合氯氟(haloxyfop-methyl)與氟氯比之混合藥劑、亞速爛(asulam)及克草等，皆可防除一年生草、多年生禾本科及闊葉雜草。巴拉刈及固殺草為接觸型藥劑，對多年生草效果較差，亞速爛、克草等萌前噴施的藥劑，對多年生草之效果亦較差。畢拉草(bialaphos)、巴達刈(paraquat + diuron)、甲基砷酸鈉和三福林僅對一年生雜草具防除效果。氟氯比、伏寄普(fluazifop)及快伏草(Quizalofop-ethyl)為選擇性除草劑，氟

表 1. 臺灣果園登記及坡地農業實際使用除草劑之簡要特性。

藥劑名稱	使用時期	推薦作物,地區	禾草		闊葉草	
			一年生	多年生	一年生	多年生
			----------------防除效果--------------			
達有龍 (diuron)	萌前	柑桔,鳳梨	＋＋	－	＋＋	－
三福林 (trifluralin)	萌前	柑桔	＋＋	－	＋	－
愛速隆 (isolax)	萌前	鳳梨	＋＋	－	＋＋	－
草脫淨 (atrazine)	萌前	鳳梨	＋＋	－	＋	－
草殺淨 (ametryn)	萌前	非耕地	＋＋	－	＋	－
菲殺淨 (hexazinone)	萌前	鳳梨,非耕地	＋＋	－	＋	－
達有淨 (diuron+ Hexazinone)	萌前	鳳梨,非耕地	＋＋	－	＋＋	－
達有淨 (diuron+hexazinone)	萌前	鳳梨	＋＋	－	＋	－
巴達刈 (paraquat+diuron)	萌前,後	香蕉,非耕地	＋＋	－	＋＋	－
克草 (bromacil)	萌前,後	柑桔,鳳梨	＋＋	＋	＋	＋
嘉磷塞 (glyphosate)	萌後	柑桔,香蕉,梨,芒果 荔枝,枇杷,葡萄,梅 石榴,非耕地,新墾地	＋＋	＋＋	＋＋	＋＋
硫復松 (sulfosate)	萌後	柑桔,非耕地	＋＋	＋＋	＋＋	＋＋
氟氯比 (fluroxypyr)	萌後	柑桔	－	－	＋＋	＋
草芬定 (azafenidin)	萌後	柑桔	＋＋	＋	＋＋	＋
畢拉草 (bialaphos)	萌後	柑桔,非耕地	＋＋	－	＋＋	－
亞速爛 (asulam)	萌後	柑桔,茶	＋＋	＋	＋	＋
伏速隆 (flazasulfuron)	萌後	葡萄,非耕地				
伏寄普 (fluazifop)	萌後	鳳梨,茶,非耕地	＋＋	＋＋	－	－
巴拉刈 (paraquat)	萌後	茶,非耕地	＋＋	－	＋＋	－
固殺草 (glufosinate)	萌後	葡萄,香蕉	＋＋	＋	＋＋	＋
甲基砷酸鈉 (MSMA)	萌後	柑桔	＋＋	－	＋	－
甲基合氯氟(haloxyfop)	萌後	茶	－	＋＋	－	＋＋
甲基合氯氟+氟氯比 (haloxyfop+fluroxypyr)	萌後	柑桔	＋＋	＋＋	＋＋	＋＋
嘉磷氟氯比 (glyphosate+ fluroxypyr)	萌後	非耕地	＋＋	＋＋	＋＋	＋＋
嘉磷二四地 (glyphosate+ 2,4-D)	萌後	柑桔	＋＋	＋＋	＋＋	＋＋
嘉磷塞+草芬定 (glyphosate+ azafenidin)	萌後	柑桔	＋＋	＋＋	＋＋	＋＋

防除效果 (efficacy)：” ＋＋” ：優(Good)，” ＋” ：可(Moderate)，” －” ：差(poor)。

氯比以防除闊葉雜草為主，對禾本科草之效果甚低，伏寄普及快伏草則以防除禾草為主，對闊葉雜草無顯著效果(袁及蔣 1996, 蔣 2001)。

2.除草劑使用特性

臺灣農業生產近年來出現勞力老化、工資上揚問題，造成作物生產成本的提高，因而農民對於作物園區雜草防除的頻度，亦隨作物經濟收益的高低而增減。由於其具有快速、經濟、防除效果長、易操作、可多次使用及坡地使用方便等特點，採用除草劑之化學除草相當普遍(Jordan and Jordan 1985, Mersie 1989, Hirose 1988)。一般果園地被植物的管理模式於暖季施藥二至三次，並配合一至二次的機械割草，採收後即放任自然生長。藥劑種類以嘉磷塞及固殺草及伏寄普的使用最多，萌前藥劑的使用較少(袁及蔣 1996)。美國佛州、加州及德州之柑桔類產地，約三分之二地區使用除草劑，但於威斯康辛州於果園則不採用清耕方式(Mersie 1989)。紐西蘭、巴西及歐美等國家，由於果樹栽植的行株距整齊，對於地被植物管理屬於藥劑與草生栽培混合模式(Foloni 1995, Harrington 1992, Skroch and Shribbs 1986)。

(1) 嘉磷塞為系統性非選擇性除草劑，藥劑可自受到噴施之部位轉移至其他未與藥液接觸之部位，對一年生及多年生雜草皆有效。施用後 6-8 小時下雨會影響效果。可添加展著劑以利其滲入植物體內(Amrhein 1980)。嘉磷塞噴施於土表，極易被土壤團粒緊密結合，而失去除草之生物活性，因此果樹根部不易經由土壤吸收藥劑而造成傷害。臺灣葡萄園、蓮霧園除草頻度高，草相較單純且常為清耕的園區。由於園區經常性噴施嘉磷塞，近年已使得野茼蒿、牛筋草、短葉水蜈蚣、鵝仔草及華九頭獅子草等雜草，逐漸產生防除不易的耐、抗性植株(袁及蔣 2001, 2002b, Yuan *et al.* 2002)。欲避免此等雜草的滋長及漫延，可採行與草殺淨藥劑輪用或混合施用方式，降低抗性草之發生。

(2) 巴拉刈為接觸型非選擇性除草劑，莖葉處理易吸收，具速效性，日光下植物迅速被破壞致死。使用後下雨，不致於降低其除草效果(蔣 2001)，惟對於臺灣野塘蒿、牛筋、通泉草(*Mazus pumilus*)、馬齒莧及一般多年生草的防除效果較差(Tutomu *et al.* 1989)。巴拉刈是目前除草劑中毒性最高者，誤食可導致死亡，噴藥時不可吸入霧粒否則會造成肺部傷害。一般質地之土壤對嘉磷塞及巴拉刈之吸附力極強，與土壤接觸後此二藥劑即失去活性，故不致為果樹根部吸收而造成果樹之傷害。

(3) 固殺草為接觸型藥劑，具局部之移行性，藥劑主成份易於自然界分解，土壤殘留性極低，能夠有效防除一年生及少部份多年生草，已登記於葡萄、香蕉、柑桔園及非耕地使用(費及王 2002, 蔣 2001)。達有龍、草脫淨及達有淨為萌前藥劑，均具有較長之土壤殘效性，砂質土壤宜避免施用，易造成作物藥害。

3.除草劑之藥害問題

果園噴施除草劑時，常造成果樹產生藥害的原因有用藥不當、劑量過高、

誤噴及藥液飄浮傷害等四種。果樹對於除草劑之忍受性，依除草劑種類、劑量和土壤狀況而異。接觸型藥劑噴施於植株，即於接觸面產生作用，呈現不規則藥斑，藥劑不易再運移至其他部位造成傷害；例如巴拉刈易被莖葉快速吸收，葉片即呈燒焦壞疽的斑點，進而乾枯、捲曲、落葉。系統型除草劑可由根部或接觸部位吸收後傳導至其它部位，造成傷害或影響芽體的再萌發，此類型除草劑對於果樹所造成藥害的程度，依照果樹種類、品種、施藥季節、藥劑劑量以及樹體接觸部位而異。一般成株較幼齡樹對藥劑的忍性強；葉表有絨毛或葉片較厚的果樹，對除草劑較不敏感；樹幹對藥劑的忍受性較葉片、花朵者強；休眠期間的落葉果樹，樹液移動較緩慢，因此樹體所受的傷害較小。大多數之系統性除草劑例如嘉磷塞、伏寄普、氟氯比等，或土壤施用之萌前藥劑例如達有龍、草脫淨、達有淨等，使用不當造成之藥害，難於短時期內恢復正常生長，亦無任何有效之補救方法(Tworkoski *et al*. 2000)，故對此類藥劑之使用必須十分慎重。無土壤殘效之接觸型藥劑，所造成之藥害影響較低，受害之果樹易於恢復。園區土壤砂質成份較高者或果樹根部曝露於土表者，噴施嘉磷塞或巴拉刈時，較可能因直接接觸藥劑而影響果樹之生長。

(三)草生栽培(sod culture)

草生栽培為於作物園內利用割草或除草劑等管理方式，選留某些原生性雜草或以人工種植覆蓋植物、綠肥，使土表保持草生狀態的一種園區管理方式(Merwin *et al*. 1995, Skroch and Shribbs 1986)。適用之地區包括坡地、多雨區、土壤侵蝕嚴重地區及缺乏有機質之輕土地區，平台面的果園亦可於果樹的行間種草，配合剪草機割草，可節省大量勞力。適宜於園區內留草的時期為雨季和冬季，可減少雨水的沖刷和侵蝕，冬季氣溫低，雜草生長緩慢，植株低矮，對作物之競爭與干擾皆少 (Merwin *et al*. 1995)。旱季可割草於土表形成敷蓋，兼具降低土溫及水分蒸散的問題(Tucker *et al*. 1997)。

1.草生栽培植材特性

一般果園內種植地被植物的效果，依土壤性質及氣溫、雨量等環境因子而異。理想的地被植物本身宜具備之條件包括枝葉茂盛、分枝性低、株型低矮等，節部生根尤佳。根部固著土壤能力強者，可降低雨水沖刷和逕流，無攀緣性，不妨礙果樹生長及園區之管理作業(Blumet *et al*. 1997)。地被植物對水分及養分之競爭性較作物弱，根分泌物對果樹無毒害現象，非果樹病蟲害之傳播媒介，易於繁殖及剷除，具有耐陰、耐旱或耐踐踏等特性(Merwin *et al*. 1995)。

臺灣以往應用的覆蓋植物，如山珠豆 (*Centrosema pubescens*)、泰樂豆 (*Stylosanthes gracilis*)、賽芻豆 (*Macroptilium atropurpureus*)、葛藤 (*Pueraria montanus*)、虎爪豆(*Stizolobium hassjooo*)與百喜草(*Paspalum notatum*)等，經由調查結果顯示此等植物具攀繞性、易於感染毒素病或紅蜘蛛等問題(Merwin *et al*. 1995)，不適用於果園做為地被植物。目前推廣之地被植物以禾本科百喜草為主，然而其根系分布深，植

株生長勢強，易與果樹競爭水分及養分。且生育旺期須割草 5-6 次，極為耗工，不耐低溫僅適於低海拔地區生長。當冬季乾旱無雨，莖葉枯死易著火，亦為其缺點(Skroch and Shribbs 1986)。Skroch and Shribbs (1986)之研究顯示，理想地被植物的前提包括：易於建立及維繫、對作物的干擾最小以及可得最大永續性產量。由於某些禾草不易建立或維繫為單一草相、生長勢太強、具有相剋潛勢或需較大生產成本，因此認為禾草類植物並非理想之地被植物。在歐洲數個國家對於氮肥流失、土壤侵蝕及農藥淋洗問題，曾研究利用覆蓋植物栽植於作物行間，其所利用之地被植物包括油菜、裸麥及原生性雜草(Zoschke 1994)。

2. 原生性草本植物(native herb plant)之利用

選取果園中低矮仆伏的雜草，具分枝性及分蘗性強，於土表形成覆蓋後，不致造成園區栽培管理操作之干擾。且由於為當地原生性植物，無生長過程中對生態環境適應性的問題，亦無購買種子的額外費用(Harrington 1992)。由這些地被植物所組成的複合草相，對於土壤微氣候的生態平衡較單一草相者佳。農委會藥毒所針對臺灣果園原生性地被植物進行調查及測試，選出低海拔果園草本植物包括萻芳草、雷公根(*Centella asiatica*)、鵝兒腸、闊葉鴨舌黃舅、竹仔菜(*Commelina diffusa*)、兩耳草(*Paspalum conjugatum*、酢漿草、紫花酢漿草(*Oxalis corymbosa*)、山地豆(*Alysicarpus vaginalis* var. *vaginalis*)，蓮子草(*Alternanthera sessilis*)、焊菜等。中海拔果園地被植物包括：鵝兒腸、早熟禾、阿拉伯婆婆納(*Veronica persica*)、小酸模(*Rumex acetosella*)、薺菜、蛇莓(*Duchesnea indica*)、酢漿草、貓蕼菊(*Hypochaeris radicata*)、金錢薄荷(*Glechoma hederacea*)等(袁及蔣 1996)。

3.草生栽培管理之原則

欲建立及維繫一理想草生栽培的園區，可依循以下五點原則進行(袁及蔣 1996)，一旦複合性的低矮植物相群落形成，仍需經常性適時管理，才可逐漸置換土壤中雜草種子類別，成為理想地被植物的種子庫。

(1) 萌後除草劑點狀噴施非選留之高大及蔓性雜草，噴藥時期以其種子及繁殖器管未形成前施用，可降低此等雜草的繁殖潛力。選留的低矮植物不噴施，因此除草劑用藥量可大幅減少。
(2) 選用適當萌前藥劑，對選留地被植物傷害小者，於春及秋初期噴施於土表，防止一年生暖及冷季草的生長。
(3) 利用低劑量的萌後藥劑或植物生長阻礙劑，矮化優勢度大的地被植物(Foloni 1995)。
(4) 配合機械割草，協助地被植物分枝及分蘗性的快速生長。
(5) 於萌後藥劑施用後之裸露地，補植或播種選留之地被植物，可加速其於土表之覆蓋。

(四)綜合管理法

近年來果園雜草的管理模式，大都配合園區地形、土壤因素、氣候季節性變化及作物生長期等因素的綜合管理法，尤其坡地果園需兼顧水土保育之考量(Childers *et al*. 1995)。臺灣與日本的生

態環境相似性高，如冷季的草相，梅雨及颱風季節的氣候特性，以及多山島國的特殊地形，因此雜草的管理模式亦相似。日本蘋果、梨、葡萄、桃子及櫻桃等落葉果樹採清耕者佔 30-46%，草生未栽培者佔 12-48%，不同果園間有相當大之差異(Kubota 1977)。紐西蘭(Harrington 1992)、巴西(Foloni 1995)及歐美等國家，由於果樹栽植的行株距整齊，對於地被植物管理屬於藥劑與草生栽培混合模式。於果樹株間噴施除草劑，使果樹下方無草，萌後藥劑以嘉磷塞、巴拉刈或硫復松田間推薦量為主，萌前藥劑以草滅淨及克草為主，避免地被植物造成水分及養分的競爭。或於果樹行間種植禾草或耐藥劑雜草，利用機械割草或以巴拉刈低劑量抑制其生長(McCloskey and Maurer 1997, Skroch and Shribbs 1986)。

1.地形及土壤因素

栽植於坡面之果園，宜採草生栽培，避免表土之沖刷、侵蝕。選留低矮匍伏雜草，以割草方式管理，利用選擇性藥劑，低劑量嘉磷塞協助管理及抑制其生長(Akobundu 1992)。若果園栽植於平台面，則可採清耕、覆蓋、草生栽培等多重選擇，管理方式則需配合季節及作物生長時期而定(Liebman and Davis 2000)。砂質土壤的果園，宜避免使用易淋洗或殘效期長之萌前藥劑，如達有龍及克草。

2.氣候之季節性變化

氣候與地被植物之關係，雨季期間應適當保留地被植物，避免清耕或藥劑不當使用，造成土表裸露及表土沖刷(Meyer 1985, Misako 1988)。旱季使用藥劑或機械除草等方法防除雜草，減少雜草消耗土壤中之水分。冬季氣溫低，地被植物生長緩慢，可行草生栽培管理。

3.作物之生長時期

果樹於春季氣候回升後，植物代謝及輸導作用旺盛，需供給充足的養分，此時園區內宜減少地被植物之競爭，可採藥劑處理(Skroch and Shribbs 1986)。果樹於開花期間，對藥劑極敏感，宜減少用藥。著果後可使用萌後除草劑，使其藥效延續至採收期間，便於操作。幼齡之果樹植株，為減少地被植物與其競爭養分和水分，其根系分佈範圍之植物應儘量予以清除(Parker and Mayer 1996, Tworkoski *et al*. 1997)。果樹植株之植株行間宜行草生栽培，以割草方式管理(Merwin and Stiles 1994a)。

五、結語

果園雜草是坡地農作物重要的管理作業。一般果園多採技術層次低之防除，以除草劑使用的頻率最高，尤其使用非選擇性藥劑可達成全面除草的效果。也因此易使土壤裸露與沖刷，造成對坡地果園水土保育的極大衝擊。現階段以建立雜草的適當管理體系為優先，其中必須顧及旱季裡雜草對土壤水分之競爭，雨季中裸露地面所導致之水土流失，雜草對所施肥料之競爭，以及高大雜草對果園管理之干擾等因素。除草劑方面，應考慮限制長殘效藥劑在坡地果園之使用，以降低果園除草對非選擇性除草劑之依賴。此外，由於在雜草競爭下，果園草生栽培之建立及維持相當不

易，如何發展利用除草劑於協助草生栽培上之積極角色，仍待進一步探討。

六、參考文獻

費雯綺、王玉美。2002。植物保護手冊。p.716-733。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所編印。

袁秋英、蔣慕琰。1992。三十種冬裡作田雜草之相剋潛勢(I)對高等植物之影響。中華民國雜草學會會刊 13(1): 9-20。

袁秋英、蔣慕琰。1996。除草劑對覆地植被及水土保育之影響。p.357-372。除草劑安全使用及草類利用管理研討會專刊。

袁秋英、蔣慕琰。2001。華九頭獅子草對嘉磷塞之反應。植物保護學會會刊 43: 29-38。

袁秋英、蔣慕琰。2002a。果園常見草本植物(上冊)。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所編印。臺中縣霧峰鄉。138pp.

袁秋英、蔣慕琰。2002b。雜草。p.141-174。植物保護圖鑑系列-柑橘保護(上冊)。行政院農業委員會動植物防疫檢疫局編印。臺北市。

袁秋英、蔣慕琰。2003a。果園常見草本植物(下冊)。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所編印。臺中縣霧峰鄉。162pp.

袁秋英、蔣慕琰。2003b。雜草。p.172-198。植物保護圖鑑系列-葡萄保護。行政院農業委員會動植物防疫檢疫局編印。臺北市。

游培基。1992。坡地水土保持。興農雜誌 282:25-29。

蔣慕琰、蔣永正。2001。農田雜草管理及除草劑簡介。行政院農委會農業藥物毒物試驗所印行。69pp.

蔣慕琰、蔣永正、袁秋英。2002。除草劑引起之草相變遷及抗藥性。p.25-30。除草劑在臺灣四十年回顧與展望研討會。中華民國雜草學會印行。臺中縣霧峰鄉。

蔣慕琰、蔣永正、袁秋英、徐玲明。1995。雜草防除。p.317-334。增修訂再版臺灣農家要覽農作篇(三)。豐年社發行。臺北市。

臺灣植物誌第二版編輯委員會。1993-1998。臺灣植物誌。第二版。第 2-5 卷。

蔡東纂、林奕耀。1984。臺灣農地雜草根瘤線蟲之研究。中華民國雜草學會會刊 5(2): 59-70。

Akobundu, I.O. 1992. Integrated weed management techniques to reduce soil degradation. p.278-288. *In*: Proceedings of the first International Weed Control Congress. Weed Science Society of Victoria Inc., Australia.

Amrhein, N., B. Deus, P. Gehrke and H.C. Steinrücken. 1980. The site of the inhibition of the shikimate pathway by glyphosate. Plant Physiol. 65: 830-834.

Ashton, F.M. and T.J. Monaco. 1991. Weed Science Principles and Practices. Wiley-Interscі. Pub., New York. 382pp.

Blum, U. L.D. King, T.M. Gerig, M.E. Lehman and A.D. Worsham. 1997. Effects of clover and small grain cover crops and tillage techniques on seedling emergence of some dicotyledonous weed species. Amer. J. Alternative Agric. 4:146-161.

Bulcke, R. and D. Callens. 1998. Herbicide resistance in weeds. p.173-180. *In*: What to Learn from Forty Years of

Long-term Herbicide Experiments in Apple and Pear Orchards? J. Maillet, ed. Comptes rendus 6eme Symposium Mediterraneen EWRS. ENSA. Montpellier, France.

Childers, N.F., J.R. Morris and G.S. Sibbett. 1995. Modern fruit science. p.632. *In*: Orchard and Small Fruit Culture. Horticultural Pub. Gainesville, Florida, USA.

Cousens, R. and M. Mortimer. 1995. Dynamics of weed populations. Cambridge University press, Cambrige, UK. 332pp.

Ellenberg, H. 1974. Indicator values of vascular plants in Central Europe. Scripta Geobotanica 9:1-97.

Foloni, L.L. 1995. Strategy for Weed control in citrus rows and interrows with the use of full and reduced doses of herbicide. p.237-240. *In*: Brighton Crop Production Conference-Weeds.

Harrington, K. 1992. Characteristics of the ideal orchard ground-cover species. p.201. *In*: Proceedings of the First Weed Control Congress. Weed Science Society of Victoria Inc., Australia.

Haynes, R.J. 1981. Effect of soil management practices on soil physical properties, earthworm population and tree root distribution in a commercial apple orchard. Soil Till. Res. 1:269－280.

Hirose, K.I. 1988. Weed control in citrus groves. Japan Pesticide Informa. 33:3-5.

Ito, M. 1988. Fundamental studies on weed management in fruit tress. Weed Res. 33(2):82-88.

Ito, M., Y. Iyama and K. Ueki. 1987. Changes in the floristic composition of orchard ground cover in relation to light conditions. Weed Res. 32:292-299.

Jordan, L.S. and J.L. Jordan. 1985. Horticultural crops. p.380-384. *In*: Principles of Weed Control in California. Thompson Publications, USA.

Jordan, N.R., J. Zhang and S. Huerd. 2000. Arbuscular-mychorrhizal fungi: potential roles in weed management. Weed Res. 40: 397-410.

Kaps, M.L. and M.B. Odneal. 1991. Fall-applied preemergent herbicides in a Missouri vineyard do not control annual weeds the following season. HorScience 26(10):1292-1293.

Kubota, T. 1977. Weed control in the deciduous orchards of Japan. Japan Pest. Informa. 22: 23-25.

Lal, R., E. Regnier, D.J. Eckert, W.M. Edwards and R. Hammond. 1991. Expectations of cover crops for sustainable agriculture. p.1-11. *In*: Cover Crops for Clean Water. W.L. Hargrove, ed. Soil and Water Conservation Society Publication. Ankey, USA.

Liebman, M. and A.S. Davis. 2000. Integration of soil, crop, and weed management in low-external-input farming systems. Weed Res. 40: 27-47.

Liebman, M. and E. Dyck. 1993. Crop rotation and intercropping strategies for weed management. Ecol. App. 3:92-122.

Lipecki, J. 1985. Weed occurrence and distribution across the interrow in the apple orchard depending on the soil

management systems. Fruit Sci. Rept. 12:73-82.

Lowell, S.J., J. Jordan and L. Jordan. 1985. Horticultural Crops: Citrus. *In*: Principles of Weed Control. Calif. Weed Conf. Thomson Publ. Fresno, CA. 380pp.

Matheron, M., M. Mauer and M. Porchas. 1998. Improving management and control of fungal diseases affecting Arizona citrus trees, 1997. p.43-49. *In*: 1998 Citrus and Deciduous Fruit and Nut Research Report. College of Agriculture. Series P-113, University of Arizona, Tucson, AZ.

McCloskey, W.B. and M. Maurer. 1997. Effects of long-term preemergence herbicide use on growth and yield of citrus. p.114-117. *In*: Citrus Research Report. College of Agriculture. Series P-109, University of Arizona, Tucson, AZ.

Mersie, W. and M. Singh. 1989. Benefits and problems of chemical weed control in citrus. Rev. Weed Sci. 4:59-70.

Merwin, I., D. Rosenberger, C. Engle, D. Rist and M. Fargione. 1995. Comparing mulches, herbicides, and cultivation as orchard groundcover management systems. Hort. Technol. 5: 151-158.

Merwin, I. and W.C. Stiles. 1994a. Orchard groundcover management impacts on apple tree growth and yield, and nutrient availability and uptake. J. Amer. Soc. Hortic. Sci. 119:209-215.

Merwin, I. and W.C. Stiles. 1994b. Orchard groundcover management impacts on soil physical properties. J. Amer. Soc. Hortic. Sci. 119:216-222.

Meyer, R.J. 1985. Horticultural Crops. p.356-361. *In*: Principles of Weed Control in California. Thompson Publications, USA.

Mikulas, J. and E. Pölös. 1983. The spread of *Erigeron Canadensis* L. in grapevine plantations and means of control. Növényvédelem 19: 149-154.

Misako, I. 1988. Fundamental studies on weed management in fruit trees. Weed Res. 33(2):82-88.

Parker, M.L. and J.R. Meyer. 1996. Peach tree vegetative and root growth respond to orchard floor management. HortScience 31:330-333.

Rice, E.L. 1984. Allelopathy. 2nd ed. Academic Press, New York.

Ross, M.A. and C.A. Lembi. 1999. Applied Weed Science. p.8-12. 2nd ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.

Skroch, W.A. and J.M. Shribbs. 1986. Orchard floor management: an overview. HortScience 21(3):390-394.

Tucker, D.P.H., C.G. Erickson and K.T. Morgan. 1997. Middles management methods in citrus affect soil moisture retention and vegetation species. Proc. Fla. State Hort. Soc. 110: 39-43.

Tutomu, K., I. Yoshihisa and N. Yutaka. 1989. Effects of continuous application of paraquat on the species composition and volume of weeds in the upland field. Weed Res. 34(2):123-130.

Tworkoski, T.J. and D.M. Glenn. 2001. Yield, shoot and root growth, and physiological responses of mature peach trees to grass competition. HortScience 36:1214-1218.

Tworkoski, T.J., D.M. Glenn and W.V. Welker. 1997. Carbohydrate and

nitrogen partitioning within one-year shoots of young peach trees grown with grass competition. HortScience 32:1174-1177.

Tworkoski, T.J., W.V. Welker and G.D. Vass. 2000. Soil residues following repeat applications of dinuron, simazine, and terbacil. Weed Technol. 14:191-196.

Wondimagegnehu, M. and M. Singh. 1989. Benefits and problems of chemical weed control in citrus. Rev. Weed Sci. 4:59-70.

Yuan, C.I., C.M. Chiang and Y.M. Chen. 2002. Triple mechanisms of glyphosate-resistance in a naturally occurring glypbosate-resistant plant *Dicliptera chinensis*. Plant Sci. 163:543-554.

Zanin, G., S. Otto, L. Riello and M. Borin. 1997. Ecological interpretation of weed flora dynamics under different tillage systems. Agric. Ecosys. Environ. 66:177-188.

Zoschke, A. 1994. Toward reduced herbicide rates and adapted weed management. Weed Technol. 8(2):376-386.

附錄一

名詞解釋

行為評估模式(behavior assessment model, BAM)

用以評估多種化合物在一相同環境下之相對動態，而過濾篩選可能污染土壤環境之化合物的模式。

傳統耕犁（conventional tillage）

於作物栽培過程中利用整地、中耕等之操作系統，操作後土壤表面之植體殘渣少於 30% 。

保留耕犁（conservation tillage）

以較少頻度及部分地表區域進行中耕、整地等之操作，至少仍有 30% 以上作物植株殘體於土壤表面。

覆蓋作物（cover crops）

可做為作物種植後活體或殘株畦面覆蓋之作(植)物，通常以豆類為主。覆蓋作物耕犁後可當綠肥，並可透過畦面覆蓋及根部之相剋化合物分泌，降低雜草危害。

雜草防除關鍵期（critical period of weed control）

為作物對雜草競爭所能承受的臨界點，超過此階段作物生育及產量將開始受到影響。關鍵期之界定，取決於作物之雜草競爭期及無草期之長短，依作物種類而異。

雜草競爭期（duration of weed competition）

作物種植後與田間雜草開始產生陽光、水、養分、空間等資源競爭的時期。每種作物對雜草競爭的忍受度不同，惟雜草競爭有一定之關鍵期，超過這個時期將對作物產量及品質產生不良影響，例如甘藍為定植後 4-5 星期，玉米則為定植後 3-6 星期。此一關鍵期即為作物忍受雜草競爭干擾之最大忍受限度，亦為採行作物雜草防除之最後期限。

生態農耕（ecofarming）

穀類生產技術之一，利用冬季收穫後枯草覆蓋及化學雜草防除抑制雜草生長及發育，隔年春天行不整地栽培。

基因流動(gene flow)

抗性基因從一種作物轉移至另一種作物或其近緣種植物，為除草劑抗性轉移之重要途徑。基因經由花粉或種子而移動；種間親合性、雜交種適合度，授粉方式及種子傳播方式，為影響抗性基因傳播之主要因子。

地下水污染潛勢模式 (groundwater pollution-potential model, GWP)

評估一化合物在某些設定條件下，到達某一特定深度之土壤時，所需之時間和到達該土層時化合物殘留之百分比。

半衰期(half life)

化合物分解一半量所需之時間。

除草劑抗性作物(herbicide-resistant crops, HRCs)

利用傳統育種或生物技術等方法導入特定之除草劑抗性基因後，所產生之抗性作物，曝露在雜草防除之一般致死劑量下，仍能存活及繁殖。

除草劑(herbicides)

凡可用於防除或管理雜草之化學藥劑的統稱。「除草劑」又稱為「殺草劑」，惟從生態與環境的觀點，施用除草劑之目的在於降低農耕地的雜草族群數量至低於「臨界經濟損失(threshold economic loss)」水準，或控制非被期待的植物於一可被接受的數量以下，而不是將所有雜草族群趕盡殺絕，破壞生物多樣的大自然。因此，宜將此等防除或管理雜草族群的藥劑稱為「除草劑」，而非「殺草劑」。

雜草綜合管理系統(integrated weed management systems)

雜草綜合管理係指適用某一特定狀況之最佳化雜草管理策略，其內容視雜草種類及環境狀況而異，亦隨著當地特有條件而有所差別，通常整合化學、物理機械、生物及耕作(犁)等方法進行綜合雜草管理，惟(1)採用多層次控制策略，即選用不只一種方法或不只一次進行防除措施；及(2)將雜草生物學知識融入管理系統，以維護生態環境並提高經濟效益等為其共通點。

漸滲雜交(introgressive hybridization)

抗性植物之基因由於雜交及回交，而與另一物種植物之基因庫相融合。所產生之雜交種傾向與數量較多之親本相似，同時具有另一親本之某些特性。

休耕前噴施（lay-by）

當作物即將休耕或採收前，利用除草劑噴施田間，將作物及雜草一併清除之措施。惟使用時要注意除草劑之安全用藥期，如馬鈴薯以 EPTC 進行休耕前噴施。

礦化作用(mineralization)

有機物在土壤中由於土壤微生物之作用而分解成無機物如二氧化碳、水、氮氣等之作用。

最少耕犁（minimum tillage）

僅於作物栽培前後進行整地耕犁之操作系統。

不整地耕犁（no-till）

於作物栽培過程前後均不施用耕犁、整地之操作。

有機農業(organic agriculture or organic farming)

遵守自然資源循環永續利用原則，不允許使用合成化學物質，強調水土資源保育與生態平衡之管理系統，並達到生產自然安全農產品目標之農業。

草生栽培(pasture cultivation)

在果園行株間種植適當草類或綠

肥作物等，並加以管理，其目的在於抑制其他雜草的大量繁殖。

光分解作用(photodegradation)

除草劑吸收太陽光之紫外線後可能發生之降能轉變。

合鴨米 (rice produced from rice/duck farming system)

利用鴨、稻共棲之耕作模式所生產的有機米稱之。

畦式耕犁（ridge-till）

於秋季收穫後不翻動土壤至過冬後之春季進行耕犁作畦，同時輔以殺草劑處理去除雜草及其萌芽。

土壤雜草種子庫(soil weed seed bank)

多數雜草能夠長期存活於一地，使土壤中併存著許多世代，形成龐大的雜草種子庫或基因庫，具有調節雜草的寬廣緩衝容量。各個雜草種子能夠持續存活於土壤的期間不一，視種子內容物充實程度而定，從一年至四十年不等變異範圍頗大。

雜草(weeds)

雜草的定義因人因時因地而異，人類將無利用價值的植物稱為雜草，或將妨礙主要作物(或母作物)生育的植物統稱為雜草。甚至狹義的將草本植物概視為雜草，或將田埂、路旁、屋鄰、田邊、荒地、溝壑、湖畔等著(叢)生的植物統歸為雜草。綜合生態學和農學觀點的『雜草』定義是，舉凡其生態角色、生理機制、生活功能及生產價值尚未釐清而未能大量經濟性栽培的植物，即稱之為雜草。

雜草防除(weed control)

雜草防除係指為了降低現存雜草族群所採取的行動或措施，期以達到減少或降低雜草族群之目的。

雜草倫理學(weed ethics)

雜草倫理學為一門從農業生產、生態環境與社會安全等多元面向探討除草劑使用、雜草管理策略及雜草科學的學問，期以導引雜草科學至正確的發展方向並貢獻於人類福祉。雜草科學或其他農業科學的倫理議題，未必僅限於批評或心智更新等嚴肅性話題，而應當是意志與理想的澄清及自我能力的提昇，體認科學家自身應該扮演的角色、抉擇適當的工作內容及具備正確的價值觀。

雜草管理(weed management)

雜草管理並不等同於雜草防除，雜草管理進一步考量如何防制雜草繁殖，減少農作物栽植後的雜草萌芽，以及減輕雜草對作物的競爭效應。換言之，雜草管理強調於綜合相關的知識與技術，以根本解決雜草併存所帶來的諸種負面問題，而不僅僅是對付雜草出現後產生的栽培干擾。雜草管理的最終目的在於執行最適當的預防性策略與措施，並追求最佳化的作物生產和經濟收益。

無草期（weed-free period）

作物種植後，田間維持一段無草狀

態的期間，對於作物幼株(苗)之建立十分必要，亦為作物除草期指標之一。以甘藍及玉米為例，種植後維持三星期的田間無草期係必要的作為，後期透過作物本身的生長競爭，即可減少雜草競爭所產生之負面影響。對生長快速之蔬菜如大豆，無草期可能很短，但對洋蔥等生育緩慢作物，無草期則可能為整個栽培季。

附錄二

除草劑之網路世界

一、全球除草劑網路世界

(一)全球主要國家之農藥主管機關網站

FAO (聯合國農糧組織)	http://www.fao.org/
U.S. Environmental Protection Agency (美國環境保護局)	http://www.epa.gov/epahome/
British Crop Protection Council (BCPC) (英國作物保護委員會)	http://www.bcpc.org/
New Zealand Crop Protection Council (紐新蘭作物保護委員會)	http://www.hortnet.co.nz/publications/nzpps/index.htm

(二)全球主要除草劑學會

Weed Science Society of America (WSSA) (美國雜草科學學會)	http://www.wssa.net/index.html
International Weed Science Society (IWSS) (國際雜草科學學會)	http://www.olemiss.edu/orgs/iws/DEFAULT.HTM
European Weed Research Society (EWRS) (歐洲雜草研究學會)	http://www.ewrs.ac.uk/
Canadian Weed Science Society (CWSS) (加拿大雜草科學學會)	http://www.cwss-scm.ca/
The Council of Australian Weed Science Societies (澳洲雜草科學學會)	http://home.vicnet.net.au/~weedss/
California Weed Science Society (CWSS) (美國加州雜草科學學會)	http://www.cwss.org/
Weed Science Society of Japan (日本雜草科學學會)	http://wssj.jp/index.html
International Survey of Herbicide resistance weeds (國際除草劑抗藥性調查)	http://www.weedscience.org/in.asp
Herbicide Resistance Action Committee (HRAC) (除草劑抗藥性執行委員會)	http://www.plantprotection.org/HRAC/

(三)全球主要除草劑供應商網站

BASF (巴斯夫)	http://www.basf.com
Bayer CropScience (拜耳作物科技)	http://www.bayercropscience.com/
Dow AgroScience (道禮農業科技)	http://www.dowagro.com
DuPont (杜邦)	http://www1.dupont.com/NASApp/dupontglobal/corp/index.jsp
Monsanto (孟山都)	http://www.monsanto.com
Syngenta (先正達)	http://www.syngenta.com

二、臺灣之農藥相關網站

(一)臺灣之農藥管理機關網站

行政院農業委員會	http://www.coa.gov.tw
行政院農業委員動物植物防疫檢疫局	http://www.baphiq.gov.tw/
行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所	http://www.tactri.gov.tw
行政院農委會農業試驗所	http://www.tari.gov.tw

(二)臺灣主要雜草及除草劑相關網站

中華民國雜草學會	http://wssroc.agron.ntu.edu.tw/
雜草及除草劑研究室，中興大學農藝系	http://web.nchu.edu.tw/~wangcylab/
國立嘉義大學農藝系	http://adm.ncyu.edu.tw/~agri/
農藥一路發，玉田地公司	Http://www.ag168.com
興農植物保護部，興農公司	http://www.sinon.com.tw/chi/main1.htm

附錄三

草坪中雜草簡易檢索表 (摘自徐及蔣 1999)

1.尖葉(單子葉，平行葉脈)
  2.莖桿無節，橫切面呈三角形 -- *莎草科*
    3.具地下球莖，於土中蔓延 -- 香附子
    3.不具地下球莖
      4.具有長且匍匐狀的地下莖，花頂生，圓頭狀 ---------------------- 短葉水蜈蚣
      4.不具匍匐狀的地下莖，聚繖花序
        5.小穗軸長，小穗呈長橢圓形 -- 扁穗莎草
        5.小穗軸短，小穗呈線形 -- 碎米莎草
  2.莖桿具節，橫切面呈圓形或橢圓形 -- 禾本科
    3.叢生
      4.花序為緊縮的圓錐花序
        5.花穗為白色長絲狀毛包圍，深根性 -- 白茅
        5.花序甚長約 20~30 公分，如鼠尾巴 ------------------------------------ 鼠尾粟
      4.不具匍匐狀的地下莖，聚繖花序
        5.圓錐花序
          6.具白色綿毛，多在秋冬季發生 -- 早熟禾
          6.不具白色綿毛，花序展開時呈長橢圓形 ---------------------------- 鯽魚草
        5.非圓錐花序
          6.不具葉舌 -- 芒稷
          6.具葉舌
            7.總狀花序，節處生根 -- 升馬唐
            7.穗狀花序，根系發達不易拔起 ------------------------------------ 牛筋草
    3.具匍匐性莖，節處長根
      4.穗狀花序排列呈指狀 -- 狗牙根
      4.圓錐花序
        5. 花序呈紫色 -- 竹節草
        5. 花序綠白色，地下莖發達，白色 -- 鋪地黍
      4.總狀花序
        5.花 3-6 枝，小穗橢圓形 -- 四生臂形草
        5.花 2 枝成對

6.小穗具二朵小花，莖桿扁平 -- 兩耳草
6.小穗單生 -- 雙穗雀稗

1.闊葉(雙子葉，網狀葉脈)
2.花白色
3.葉對生
4.葉有柄
5.莖四稜形，種子具逆刺，易附著人畜 ------------------------ 大白花咸豐草
5.全株有粗毛，具香味，葉卵形或心臟形 ------------------------ 白花藿香薊
4.葉無柄
5.不具花梗
6.莖節間有兩排細白毛，有時呈紫紅色 ------------------------------- 滿天星
6.葉線形至橢圓狀披針形，鈍頭 -------------------------------------- 節節花
5.具花梗
6.莖葉具毛
7.花單一，腋生，白色花瓣 5 片 ------------------------------------- 鵝兒腸
7.葉質稍厚，莖折斷處很快變黑色 ------------------------------------- 鱧腸
6.光滑無毛，莖有稜
7.葉長橢圓形.--- 長梗滿天星
7.葉長線形
8.綠色或帶暗紫色，花單生或成對著生於葉腋 ----------------- 珠仔草
8.花 1~4 個著生於葉腋和頂端 --------------------------------- 繖花龍吐珠
3.葉互生
4.葉無柄或具短柄，全緣，分枝多，全株具短剛毛 ------------------- 細纍子草
4.葉有柄
5.葉三角形，葉柄及葉脈上皆具倒刺 ------------------------------------- 扛板歸
5.葉橢圓形，羽狀分裂，多在秋冬季發生 ------------------------- 小葉碎米薺
5.葉卵形或長橢圓形，全緣或淺鋸齒緣。漿果圓球形，
綠色，成熟時轉成黑色 --- 龍葵
2.花黃色
3.蔓性，葉對生，掌狀，具長柄有刺，兩面粗糙 ------------------------------ 葎草
3.莖直立或分枝
4.全株被有白綿毛，葉互生，柔軟 --- 鼠麴草
4.全株光滑無毛
5.葉對生，有柄，葉緣波狀全緣 --- 燈籠草
5.葉無柄，呈不規則之鋸齒緣，果實為短圓柱形角果 ------------- 廣東葶藶
5.莖分枝，葉基狹窄似葉柄狀，果實為長圓柱狀角果 ---------------- 山芥菜

5.莖四稜形，種子具逆刺，易附著人畜 ---------------------------------- 咸豐草
3.叢生型，或莖匍匐斜上
4.莖葉肉質肥厚，常帶紫紅色，鈍頭全緣，無柄 ------------------------- 馬齒莧
4.莖葉不肥厚
5.具根生葉，呈叢生型
6.根生葉大且發達，無柄，上位莖生葉抱莖 ------------------------- 兔仔菜
6.大部份為根生葉，有柄，羽狀深裂 --------------------------------- 黃鵪菜
5.莖葉匍匐在地面
6.葉對生，花具長柄，單生 --- 長柄菊
6.葉互生，具長柄，小葉三出 --- 酢醬草
2.花紅色或紫色
3.直立型
4.葉對生
5.具香味，葉卵形或心臟形 -- 紫花藿香薊
5.莖細長，葉倒卵形至披針形 -- 一枝香
4.葉互生
5.多年生草本，根粗大肉質性，花漏斗狀，5 深裂 --------------- 細葉蘭花參
5.葉具粗毛，主葉脈帶紅色，長橢圓形，花序經常彎曲下垂 --------- 昭和草
5.葉背呈紫紅色，下位葉羽裂，上位葉無柄，抱莖 --------------------- 紫背草
5.葉具羽狀深裂，葉背被有白色綿毛 ------------------------------------- 泥胡菜
3.叢生，或莖匍匐斜上
4.複葉
5.三出複葉，具葉柄，小葉倒卵形，截頭，頂端凹入 ------------------ 蠅翼草
5.二回羽狀複葉，花紫紅，球形 -- 含羞草
4.單葉
5.葉根生
6.小葉三枚，倒心形，地下鱗莖發達 -------------------------- 紫花酢醬草
6.單三角形 --.小堇菜
5. 葉非根生
6.葉互生，有柄，橢圓形，花頂生 ----------------------------------- 山土豆
6.葉對生
7.果實長圓柱形
8.葉長橢圓形，基部漸尖呈有短柄狀，鋸齒緣 ---------------- 泥花草
8.葉全緣，穗狀花序 -- 爵床
7.果實圓形或橢圓形
8.根生葉叢生，莖生葉對生，頂端圓頭，鈍鋸齒 ------------- 通泉草
8.葉短柄，頂端鈍角，全緣或具少許純鋸齒 ------------------ 藍豬耳

2.花綠色或不明顯
3.具乳汁
4.葉互生
5.葉具長柄，橢圓形，鈍鋸齒 -- 鐵莧草
5.葉左右兩排，似羽狀複葉，無柄，果實扁球形，光滑，
著生在葉下 -- 葉下珠
4. 葉對生
5.莖在基部分枝甚多，平鋪地面，葉小，呈紫紅色 --------------------- 紅乳草
5.莖斜上或直立，葉表面有紫紅色斑 -------------------------------------- 飛揚草
3.不具乳汁
4.直立型
5.有長葉柄
6.葉卵形，花綠色著生頂端或腋生，形似食用莧菜 ------------------- 野莧
6.葉三角卵形，葉背及嫩枝均具綠白色粉霜 --------------------- 小葉灰藋
5.葉無柄或具短柄
6.莖基部分枝，全株被有白絹毛，葉柔軟 ---------------------------- 鼠麴舅
6.莖直立，上半部分枝
7.頭狀花細小約 2~3 mm --- 加拿大蓬
7.頭狀花比加拿大蓬略大，約 3~4mm. ----------------------------- 野茼蒿
7.頭狀花比野茼蒿略大，約 5~6mm ------------------------------ 美洲假蓬
4.叢生，或匍匐生長
5.節處生根，走莖在地下
6.葉全緣，花白色或略帶黃色 --- 馬蹄金
6.莖呈紫紅色，節間長，葉鈍鋸齒緣 --------------------------------- 雷公根
6.光滑無毛，葉緣淺裂，鈍鋸齒狀 .------------------------------------ 天胡荽
6.光滑無毛，葉緣 3 深裂，鈍鋸齒狀 -------------------------- 台灣天胡荽
5.叢生，不具匍匐性走莖
6.分枝甚多，葉互生，2-3 回羽狀深裂 ----------------------------- 假吐金菊
6.葉根生，具長柄，橢圓形，葉緣波狀 ------------------------------- 車前草
5.莖匍匐生長，莖葉平鋪草地上
6.葉對生，具短柄，圓形，花柄細具粘性腺毛，能粘著 ------------- 菁芳
在衣褲上草
6.葉互生
7.葉狹橢圓形，全緣，尖端鈍，具托葉 ------------------------ 節花路蓼
7.葉長橢圓形，前端具有粗鋸齒緣，頭狀花，球形 ------------- 石胡荽

附錄四

防除草坪雜草之除草劑

防除草坪雜草之除草劑(Herbicides used for weed control in turf)(**摘自徐及蔣** 1999)

普通名稱	英文名稱	成分劑型	施藥時期		選擇性		莖葉施用		對象雜草		
			萌前	萌後	有	無	傳導性	接觸性	闊葉	禾草	莎草
二、四-地	2,4-D	80% SP		V	V		V		V		
亞速爛	asulam	37% S		V	V			V	V	V	
本達隆	bentazon	44.1% S		V	V			V	V		V
汰硫草	dithiopyr	32% EC	V		V					V	
伏速隆	flazasulfuron	10% WP		V	V		V		V		V
伏寄普	fluazifop	17.5% EC		V	V		V			V	
氟氯比	fluroxypyr	29.64% EC		V	V		V		V		
嘉磷塞	glyphosate	41% S		V		V	V		V	V	V
依速隆	imazosulfuron	10% FP		V	V		V		V		V
滅必淨	metribuzin	70% WP	V		V				V	V	V
甲基砷酸鈉	MSMA	45% S		V	V		V		V		V
滅落脫	napropamide	50% WG	V		V				V	V	
樂滅草	oxdiazon	2% G	V		V				V	V	
巴拉刈	paraquat	24% S		V		V		V	V	V	V
施得圃	pendimethalin	34% EC	V		V				V	V	V
百速隆	pyrazosulfuron	10% WP	V	V	V		V		V		V
快克草	quinclorac	50% WP		V	V		V			V	
西殺草	sethoxydim	20% EC		V	V		V			V	
草滅淨	simazine	50% WP	V		V				V	V	
三氯比	triclopyr	61.6% EC		V	V		V		V		

附錄五

除草劑對草坪草種之影響

除草劑對草坪草種之影響(摘自徐及蔣 2001)

除草劑		施用 [1]		雜坪草忍受性 [2]													
普通名	中名	位置	時間點	TG1 [3]	TG2	TG3	TG4	TG5	TG6	TG7	TG8	TG9	TG10	TG11	TG12	TG13	TG14
2,4-D	二,四-地	F		Po		T	M	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
alachlor	拉草	S	Pr	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
asulum	亞速爛	F	Po	S	S	S	T	T	T	T	S	S	S	S	M	T	T
atrazine	草脫淨	F,So	Po,Pr	T	T	M	T	T	M	T	T	T	T	T	T	T	T
aziprotryn	滅蘇民	So	Pr	T	T	M	T	T	M	T	T	T	T	T	T	T	T
bentazon	本達隆	F	Po	T	T	T	T	T	T	T	T	M	T	T	T	T	T
bifenox	必芬諾	So	Pr	T	T	M	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
butachlor	丁基拉草	So	Pr	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
butralin	比達寧	So	Pr	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
cycloxydim	環殺草	F	Po	M	M	S	M	S	M	M	T	S	S	S	M	T	T
dinitramine	撻乃安	So	Pr	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
flazasulfuron	伏速隆	F	Po	M	M	S	T	T	T	T	M	M	M	M	S	T	T
fluazifop	伏寄普	F	Po	S	S	M	S	S	S	S	S	S	S	M	M	M	M
fluroxypyr	氟氯比	F	Po	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
glufosinate	固殺草	F	Po	S	S	M	S	S	S	S	M	S	S	S	M	S	S

glyphosate	嘉磷塞	F	Po	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
haloxyfop-methyl	甲基合氯氟	F	Po	S	S	M	S	S	S	S	S	S	S	S	S	M	M
image		F	Po	M	M	M	T	T	T	T	T	M	M	M	M	T	T
liuron	理有龍	So	Pr	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	M	M
metazachlor	滅草胺	So	Pr	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
metribuzin	滅必淨	F,So	Po,Pr	T	T	M	T	M	M	T	T	T	T	S	T	T	M
MSMA	甲基砷酸鈉	F	Po	M	M	S	T	T	T	T	M	S	M	M	M	T	T
napropamide	滅落脫	So	Pr	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
oxadiazon	樂滅草	So	Pr	T	M	M	T	T	T	T	M	T	T	T	M	M	T
oxyfluorfen	復祿芬	So	Pr	T	M	M	T	T	M	T	M	T	T	M	M	M	T
paraquat	巴拉刈	F	Po	M	M	M	S	S	S	M	M	M	M	T	M	M	M
pendimethalin	施得圃	So	Pr	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
pyrazosulfruon	百速隆	F	Po	T	T	M	T	T	T	T	M	T	T	M	T	T	T
quinclorac	快克草	F	Po	M	M	S	T	T	T	T	M	S	T	M	M	T	T
quizalofop	快伏草	F	Po	S	M	S	S	S	S	S	S	M	S	S	S	M	M
sethoxydim	西殺草	F	Po	S	S	S	S	S	S	S	T	S	M	S	S	M	M
triclopyr	三氯比	F	Po	M	M	M	M	M	M	M	T	M	S	M	S	T	T
trifluralin	三福林	So	Pr	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T

[1] Application sites include: foliage(F) and soil(So), application timing is preemergence (Pr) or postemergence(Po).

[2] Turfgrass tolerances (foliage injury rating) : T= tolerant or safe; M=intermediate with possible short-term injury; S=serious injury or death

[3] TG1: 地毯草(*Axonopus compressus*)， TG2: 類地毯草(*Axonopus affinis*)，TG3: 竹節草(*Chrytsopogon aciculatus*)， TG4: 普通百慕達草(*Cynodon dactylon* cultivars 'common')， TG5: 百慕達草 Tifdwarf (*Cynodon dactylon* cultivars ' Tifdwarf')， TG6: 百慕達草 Tif419 (*Cynodon dactylon* cultivars ' Tif419')， TG7: 百慕達草 U3 (*Cynodon dactylon* cultivars ' U3')， TG8: 假儉草(*Eremochloa ophiuroides*)， TG9: 兩耳草(*Paspalum conjugatum*)， TG10:雙穗雀稗(*Paspalum distichum*)， TG11: 百喜草(*Paspalum notatum*)， TG12: 聖奧古斯丁草(*Stenotaphrum secundatum.*)， TG13: 高麗芝(*Zoysia tenuifolia.*)，TG14: 結縷草(*Zoysia japonica*)

附錄六

常用除草劑及相關名詞

加速汰(acephonone)
拉草(alachlor)
草脫淨(atrazine)
滅蘇民(aziprotryne)
本達隆(bentazon)
丁基拉草(butachlor)
比達寧(butralin)
克欄本(chloramben)
剋草同(clethodim)
可滅蹤(clomazone)
畢克草(clopyralid)
環已烯氧(cyclohexanedione)
環殺草(cycloxydim)
邁隆(dazomet)
大克草(DCPA)
除草寧(propanil)
汰草滅(dimethenamide)
鏈乃安(dinitramine)
二硝基苯胺(dinitroanilines)
大芬滅(diphenamid)
聯苯醚(diphenylethers)
達有龍(dinuron)
伏寄圃(fluazifopbutyl)
貝殺靈(fluchloralin)
土壤燻蒸劑(fumigants)
固殺草(glufosinate)
嘉磷塞(glyphosate)
甲基合氯氟(haloxyfopmethyl)
人工除草(hand weeding)
除草劑(herbicides)
依滅草(imazapyr)
休耕前(lay-by)
理有龍(linuron)
機械除草(mechanical weed control)
滅草胺(metazachlor)
斯美地(metham-sodium)
溴化甲烷(methyl bromide)
莫多草(metolachlor)
滅必淨(metribuzin)
機械割草(mowing)
覆蓋(mulch)
滅落脫(napropamide)
納得爛(naptalum)
滅殺草(nitralin)
禾爾邦(norea)
有機磷(organic phosphorus)
樂滅草(oxadization)
復祿芬(oxyfluoren)
巴拉刈(paraquat)
施得圃(pendimethalin)
啶核酸(picolinic acid)
萌後(postemergence)
萌前(preemergence)
植前(preplant)
預防(prevention)
雷蒙得(propachlor)
普拔草(propaquizafop)
南瓜(pumpkin)
快伏草(quizalofopethyl)
西殺草(sethoxydim)
草滅淨(simazine)
克乃達(TCA)
中耕(tillage)
三福林(trifluralin)

名詞索引

土中種子庫　12, 14-15, 17, 23.

土壤吸附作用　106-107.

土壤呼吸作用　112-113, 115.

化學性　9, 39, 50, 52, 71, 78, 85, 92, 105, 109-110, 158.

水華　184-185,188.

水稻有機栽培　61, 67, 70.

代謝　110, 112, 114, 118-123, 128-136, 138, 149-155, 157, 174, 180, 235.

永續農業　5, 9, 35, 227.

生物多樣性　9-10, 57, 158, 225.

生物性　7, 9, 29, 39, 44, 48-50, 52-53, 61, 137.

生物累積作用　106.

生態　1-3, 6-10, 12, 21-24, 27-28, 33-35, 37-38, 43, 48-49, 51-52, 54-55, 57-58, 61, 63, 68-71, 78, 103, 105, 114-115, 143, 159, 171, 179-180, 183-188, 191, 209, 211-212, 221-223, 225-227, 234.

生態生理學　43.

交叉抗性　143, 153-154.

休眠　12, 14-24, 28, 33, 37, 40-42, 46-47, 57, 59, 147, 171, 174, 181, 207, 233.

光化學安定性　106.

光敏感劑　110.

多重抗性　143, 147, 157, 171, 175.

有害生物綜合管理/疫病蟲害綜合管理　1.

自生作物　174-175.

吸收　34, 45, 54, 69, 98, 109-110, 113-114, 117-120, 124, 126, 128, 130-131, 134, 137, 149-150, 152, 154-155, 157-158, 181, 185-187, 191, 197, 204, 222, 232-233.

抗性機制　139-140, 143, 148-155, 157-159, 166.

沉水性雜草　180, 183.

防除　1-2, 4, 6-9, 21-22, 27-35, 37-42, 46-49, 51-53, 54-55, 57-59, 61, 64-65, 67, 82, 103, 117, 129, 134, 139-140, 143, 145, 157-158, 166, 169, 187-190, 193-200, 202, 204-209, 211-212, 220-223, 225, 228-232, 235-236.

果園雜草　69-70, 225, 227-229, 234.

物理性　9, 44, 58, 66, 71, 78, 84, 114, 139, 203.

非耕地　27, 32, 35, 174, 231-232.

非農耕地　27, 34-35.

非選擇性除草劑　31, 39, 73, 76, 82, 129, 132, 137, 170, 197, 200, 225, 232, 235.

原生性草本植物　225, 234.

挺水性雜草　180.

根除　37-41, 49, 52, 188, 229.

耕犁　12, 14-15, 21-23, 27-30, 32-35, 46, 57-58, 61, 70, 108, 170, 175, 211, 223, 225, 229.

草生栽培　58, 69-71, 225, 229-230, 232-236.

除草劑　1-6, 10, 14-15, 21, 27-29, 55, 57-58, 61, 64, 68-71, 73-79, 82, 84-87, 91, 101, 103-115, 117-140, 143-159, 166-176, 183, 188-190, 193, 195-210, 212, 222-223, 225, 228-236.

除草劑抗性　4-6, 10, 79, 117, 130, 139, 143, 152, 158, 166-171, 174-176.

除草劑抗性作物　1, 4, 5, 166-169, 171, 174-176.

除草劑耐性　143.

除草劑銷售　76-77.

基因流動　171, 175.

控制作物　45.

控制營養　45.

植 前　27-30, 32, 50, 52, 175, 198-199, 203-207, 209, 211.

無草期　194.

發芽　12, 14-24, 27, 34, 56, 70, 103, 134, 139, 173, 175, 181, 196, 211-212, 214, 221, 222.

發芽後　12, 14, 56.

傳統的　22, 38-39, 51-52, 96-97, 186, 200.

微生物降解作用　106.

溫度　16, 18-21, 24, 27, 33, 43-45, 59, 63, 88, 93-95, 99, 109, 113-114, 118, 180, 185, 193, 196, 199, 206, 211, 227, 229.

農業生物多樣系統　1.

農藥市場　74, 76-77, 82.

農藥登記　74, 76, 78, 80-81.

農藥管理　77-78, 82.

預防　7, 37-40, 52, 87, 89, 101, 175, 186, 189, 198, 200, 211, 221, 223, 225.

漂浮性雜草　180, 188.

滿江紅　182.

漸滲雜交　173.

種子　2, 4, 8, 9-25, 27-29, 31-35, 37, 39-52, 54-59, 61, 64, 70, 76, 84-85, 89, 98, 103, 118, 134, 136, 139, 147, 149, 158, 166-168, 170-171, 173-175, 180-181, 185-187, 196, 198-200, 204, 207, 211-223, 228-229, 234.

綜合　1, 2, 6-9, 14-27, 29-30, 37-38, 51-52, 68, 70, 74, 79, 89, 111, 113, 158-159, 186, 191, 193, 200, 207, 209, 225, 229, 234.

蒸發散作用　184.

模式　12, 21-22, 29-30, 32, 61, 111-112, 114, 117, 119, 126, 129, 137-139, 143, 147, 158, 175, 227, 229, 232, 234-235.

蔬菜園　193, 195, 202.

篩選壓力　148, 155, 166, 170-171.

鴨子　61-63, 65-66, 68-71.

優養化作用　185.

轉運　98, 117, 119-121, 126, 137, 149-150, 154-156, 158.

雜草　1-10, 12-17, 21-24, 27-35, 37-61, 63-66, 68-71, 84, 103-105, 115, 117, 119, 121-122, 124, 129-130, 133-134, 139-140, 143-159, 166-176, 179-191, 193-207, 209-214, 219-223, 225-226.

雜草防除　1, 2, 7, 21, 35, 38-43, 46, 48, 50, 52-59, 61, 64-65, 67-68, 134, 139-140, 145, 158, 166-167, 169-170, 175, 187, 189-190, 193-194, 196-200, 204, 209, 222, 225, 230, 232, 236.

雜草科學　1-6, 9, 52.

雜草管理　1-9, 12, 15, 21, 24, 29-30, 32, 34-39, 43, 45, 48, 50-52, 54, 58, 61-69, 145, 157-159, 166, 169-171, 173-175, 186, 191, 193, 200, 207, 209, 211, 223, 225, 227, 229, 236.

雜草綜合管理　6-9, 49, 52, 70, 193, 200, 207, 209.

雜草競爭期　194.

統 一 編 號
1009304759

行政院農業委員會農業試驗所
AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE
1895

ISBN 957-01-9718-8
9 789570 197181

定價：新台幣500元